

Apoiando o desenvolvimento do RN

Curso Técnico de Nível Médio Subseqüente em Eletromecânica

Automação de Sistemas Industriais

**Soluções que evoluem:**  
**Desenvolvimento Humano e Tecnológico.**

[www.funcern.br](http://www.funcern.br)



## **Automação de Sistemas Industriais**

### **Apresentação**

Esta apostila, elaborada de modo resumido, tem o objetivo de servir de apoio para o curso preparatório de certificação de técnicos e de servir como guia de referência rápida na disciplina de Automação de Sistemas Industriais. Pode ser utilizada como referência para consultas sobre automação básica e sistemas digitais para controle de processos industriais, além de uma seção sobre introdução e eletrônica digital.

A seqüência na apresentação dos conteúdos e a forma simples como são abordados visam facilitar a leitura e melhorar o aprendizado. Inicialmente o texto aborda os conceitos básicos na automação, seu histórico e evolução, tipos de sensores aplicados na automação de sistemas. E em um segundo momento são apresentados os principais conceitos da teoria básica sistemas digitais para controle de processos industriais. Na parte final é apresentada uma introdução a sistemas digitais.

Pela relevância de aspectos práticos associados aos conteúdos, o texto é rico em figuras, gráficos e fotografias que buscam a clareza e coleção prática dos assuntos discutidos.

Sugestões, críticas e as correções são de grande importância para a melhoria deste trabalho e podem ser feitas no e-mail [jonathan@cefetrn.br](mailto:jonathan@cefetrn.br).

Jonathan Paulo Pinheiro Pereira  
Outubro de 2008

**Disciplina:** Automação de Sistemas Industriais

**Carga-  
Horária:** 120h/a

### Objetivos

- Conhecer as tecnologias envolvidas na Automação de Sistemas Industriais;
- Conhecer as principais técnicas de controle automatizado;
- Adquirir conhecimentos básicos em Sistemas Digitais.

### Conteúdos

1. Introdução: conceito, histórico da Automação Industrial
2. Conceitos básicos em automação
3. Evolução da Eletrônica e Automação da mão de obra
4. Automação e Controle
5. Controle de processo com computador
6. Controle de processo com computador
7. Dispositivos de entrada e sensores
8. Dispositivos de saída e atuadores
9. Sistema SDCD e SCADA
10. Introdução a Sistemas Digitais

### Procedimentos Metodológicos e Recursos Didáticos

- Aulas expositivas
- Resolução de exercícios

### Avaliação

- Avaliação escrita
- Listas de exercícios

### Bibliografia básica

1. TELECURSO 2000. Curso Profissionalizante: Automação. Editora globo, 2000.
2. SENAI – ES. Instrumentação Básica I. CPM – Programa de Certificação do Pessoal de Instrumentação, 1999.
3. RIBEIRO, Marco Antônio. Controle de Processo. Teoria e Aplicações, Salvador, 2003.
4. RIBEIRO, Marco Antônio. Controle e Automação. 1ª Ed. Salvador, 2005.
5. SENAI – RJ. Monitoramento e Controle de Processos. 2004.
6. PROMIMP – 2008. Eletricista de Manutenção: Automação Industrial, 2008.
7. SENAI – ES. Eletrônica Digital. CPM – Programa de Certificação do Pessoal de Manutenção, 1999

## SUMÁRIO

1 - AUTOMAÇÃO.....	5
2 - DISPOSITIVOS DE ENTRADA E SENSORES .....	12
3 - DISPOSITIVOS DE SAÍDA E ATUADORES.....	27
4 - SISTEMAS DIGITAIS PARA AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS .....	29
5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
6- LISTA DE EXERCÍCIOS .....	48

## 1 - AUTOMAÇÃO

### Conceito

Automação é a substituição do trabalho humano ou animal por máquina, é o controle de processos automáticos com a menor intervenção humana possível. Automático significa ter um mecanismo de atuação própria, que faça uma ação requerida em tempo determinado ou em resposta a certas condições. O conceito de automação varia com o ambiente e experiência da pessoa envolvida. São exemplos de automação:

1. Para uma dona de casa, a máquina de lavar roupa ou lavar louça.
2. Para um empregado da indústria automobilística, pode ser um robô.
3. Para uma pessoa comum, pode ser a capacidade de tirar dinheiro do caixa eletrônico.

O conceito de automação inclui a idéia de usar a potência elétrica ou mecânica para acionar algum tipo de máquina. Deve-se acrescentar à máquina algum tipo de inteligência para que ela execute sua tarefa de modo mais eficiente e com vantagens econômicas e de segurança. Como vantagens, a máquina:

1. nunca reclama
2. nunca entra em greve
3. não pede aumento de salário
4. não precisa de férias
5. não requer mordomias.

Como nada é perfeito, a máquina tem as seguintes limitações:

1. capacidade limitada de tomar decisões
2. deve ser programada ou ajustada para controlar sua operação nas condições especificadas
3. necessita de calibração periódica para garantir sua exatidão nominal
4. requer manutenção eventual para assegurar que sua precisão nominal não se degrade.

### Objetivos Gerais

1. Conceituar automação e controle automático.
2. Listar os diferentes sistemas digitais para automação.
3. Definir o conceito de automação e seu efeito na indústria e sociedade.
4. Introduzir os tipos básicos de sensores, atuadores e equipamentos de controle eletrônico.

### 1.1 - EVOLUÇÃO DA ELETRÔNICA E AUTOMAÇÃO DA MÃO DE OBRA

Nos anos 30 existiam as válvulas eletrônicas, muito usadas em rádios. Um daqueles antigos rádios dos “tempos da vovó” possuíam mais ou menos uma dúzia de válvulas eletrônicas. As válvulas funcionavam como relés mais sofisticados. Eram muito mais rápidas que os relés, mas tinham o inconveniente de durarem pouco tempo. Após cerca de 1000 horas de uso, as válvulas “queimavam”, assim como ocorre com as lâmpadas. Era então necessário trocar a válvula queimada. Nos anos 30 e 40 foram construídos vários computadores, ainda experimentais, utilizando as válvulas. Esses computadores eram caríssimos e eram usados para aplicações militares, como por exemplo, cálculos da balística para lançamentos de projéteis. Alguns eram tão grandes que mediam do tamanho de um ginásio de esportes. Dentro da equipe de pessoas que trabalhavam com esses computadores, havia sempre um sujeito que carregava um carrinho cheio de válvulas. Passava o dia inteiro procurando e trocando válvulas queimadas.



Figura 1.1 - Uma parte do computador ENIAC (1939).

Uma grande melhoria em todos os aparelhos eletrônicos ocorreu após a invenção do transistor. Esses pequenos componentes serviam para substituir as válvulas, mas com muitas vantagens. Eram muito menores, consumiam menos corrente elétrica e duravam muitos anos. Tornou-se possível a construção de computadores de menor tamanho, mais rápidos, mais confiáveis e mais baratos. Com o advento do circuito integrado (1960) e do microprocessador (1970), a quantidade de inteligência que pode ser embutida em uma máquina a um custo razoável se tornou enorme. O número de tarefas complexas que podem ser feitas automaticamente cresceu várias vezes. Atualmente, pode-se dedicar ao computador pessoal (CP) para fazer tarefas simples e complicadas, de modo econômico. A automação pode reduzir a mão de obra empregada, porém ela também e ainda requer operadores. Em vez de fazer a tarefa diretamente, o operador controla a máquina que faz a tarefa. Assim, a dona de casa deve aprender a carregar a máquina de lavar roupa ou louça e deve conhecer suas limitações. Operar a máquina de lavar roupa pode inicialmente parecer mais difícil que lavar a roupa diretamente.

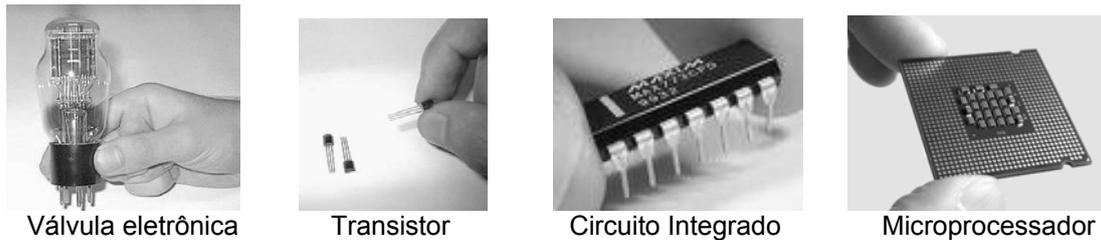


Figura 1.2 – Evolução da eletrônica.

Muitas pessoas pensam e temem que a automação significa perda de empregos, quando pode ocorrer o contrário. De fato, falta de automação coloca muita gente para trabalhar. Porém, estas empresas não podem competir economicamente com outras por causa de sua baixa produtividade devida à falta de automação e por isso elas são forçadas a demitir gente ou mesmo encerrar suas atividades. Assim, automação pode significar ganho e estabilidade do emprego, por causa do aumento da produtividade, eficiência e economia. Muitas aplicações de automação não envolvem a substituição de pessoas por que a função ainda não existia antes ou é impossível de ser feita manualmente. Pode-se economizar muito dinheiro anualmente monitorando e controlando a concentração de oxigênio dos gases queimados em caldeiras e garantindo um consumo mais eficiente de combustível. Pode se colocar um sistema automático para recuperar alguma substância de gases jogados para atmosfera, diminuindo os custos e evitando a poluição do ar ambiente.

## 1.2 - Automação industrial

A automação industrial está intimamente ligada à instrumentação. Os diferentes instrumentos são usados para realizar a automação. Historicamente, o primeiro termo usado foi o de controle automático de processo. Foram usados instrumentos com as funções de medir, transmitir, comparar e atuar no processo, para se conseguir um produto desejado com pequena ou nenhuma ajuda humana. Isto é controle automático. Com o aumento da complexidade dos processos, tamanho das plantas, exigências de produtividade, segurança e proteção do meio ambiente, além do controle automático do processo, apareceu a necessidade de monitorar o controle automático. A partir deste novo nível de instrumentos, com funções de monitoração, alarme e intertravamento, é que apareceu o termo automação.



Figura 1.3 – Planta industrial para processamento de petróleo bruto.

A automação é também aplicada a processos discretos, onde há muita operação lógica de ligar e desligar e o controle seqüencial. O sistema de controle aplicado é o Controlador Lógico Programável (CLP). Assim: controle automático e automação podem ter o mesmo significado ou podem ser diferentes, onde o controle regulatório se aplica a processos contínuos e a automação se aplica a operações lógicas, seqüenciais de alarme e intertravamento.

### 1.3 - Automação e instrumentação

Na década de 1970, era clássica a comparação entre as instrumentações eletrônica e pneumática. Hoje, há a predominância da eletrônica microprocessada. Os sensores que medem o valor ou estado de variáveis importantes em um sistema de controle são as entradas do sistema, mas o coração do sistema é o controlador eletrônico microprocessado. Muitos sistemas de automação só se tornaram possíveis por causa dos recentes e grandes avanços na eletrônica. Sistemas de controle que não eram práticos por causa de custo há cinco anos atrás hoje se tornam obsoletos por causa do rápido avanço da tecnologia.



Figura 1.4 – Tipos de instrumentação.

A chave do sucesso da automação é o uso da eletrônica microprocessada que pode fornecer sistemas eletrônicos programáveis. Por exemplo, a indústria aeronáutica constrói seus aviões comerciais em uma linha de montagem, mas personaliza o interior da cabine através de simples troca de um programa de computador. A indústria automobilística usa robôs para soldar pontos e fazer furos na estrutura do carro. A posição dos pontos de solda, o diâmetro e a profundidade dos furos e todas as outras especificações podem ser alteradas através da simples mudança do programa do computador. Como o programa do computador é armazenado em um chip de memória, a alteração de linhas do programa neste chip pode requerer somente alguns minutos. Mesmo quando se tem que reescrever o programa, o tempo e custo envolvidos são muitas vezes menores que o tempo e custo para alterar as ferramentas.

### 1.4 - Automação e controle

Os sistemas automatizados podem ser aplicados a uma simples máquina ou em toda indústria, como é o caso das indústrias petroquímicas. A diferença está no número de elementos monitorados e controlados. Estes podem ser simples válvulas ou servomotores, cuja eletrônica de controle é bem complexa. De uma forma geral o processo de controle tem o diagrama semelhante ao mostrado na figura 1.5.

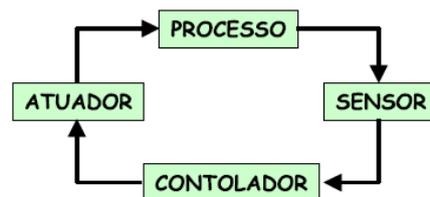


Figura 1.5 – Diagrama simplificado de um sistema de controle automático.

Podemos observar a presença de um conjunto de elementos básicos responsáveis pelo monitoramento e controle da planta, são eles: Os sensores, atuadores e o controlador.

Os sensores são elementos que fornecem informações sobre o sistema, correspondendo as entradas do controlador. Esses podem indicar variáveis físicas, tais como pressão ou temperatura, ou simples estados como

um fim de curso acionado por um cilindro pneumático.

Os atuadores são dispositivos responsáveis pela realização de trabalho no processo ao qual está se aplicando a automação. Podem ser elétricos, hidráulicos, pneumáticos ou de acionamento misto.

O controlador é o elemento responsável pelo acionamento dos atuadores, levando em conta o estado das entradas (sensores) e instruções do programa inserido em sua memória.

A completa automatização de um sistema envolve o estudo de todos os elementos da figura 1.5, seja o sistema de pequeno, médio ou de grande porte. Em sistemas de médio e grande porte a complexidade pode atingir níveis onde faz-se necessária a divisão do problema em camadas onde a comunicação e hierarquia dos elementos segue o padrão organizacional como podemos observar na figura 1.6.

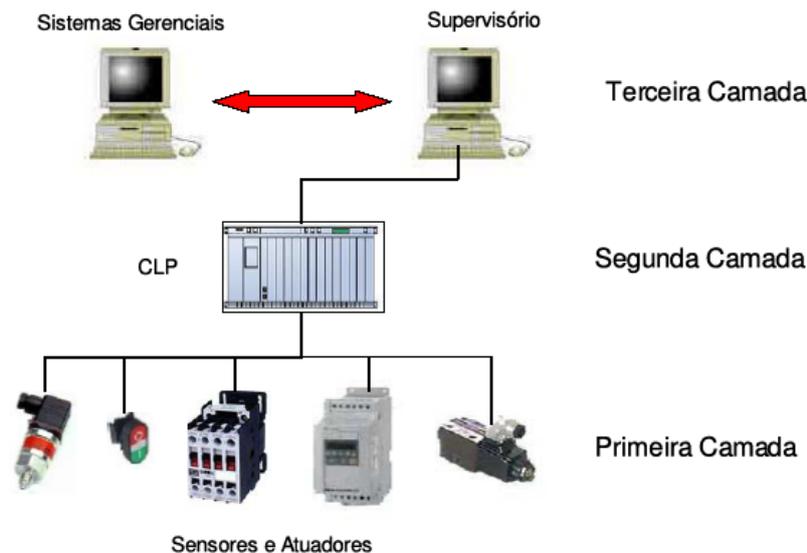


Figura 1.6 – Arquitetura de rede simplificada para um sistema automatizado.

Nota-se que os elementos mostrados na figura 1.5 pertencem a primeira e segunda camadas. Na terceira camada estão os sistemas supervisórios, operados pela “mão humana”, onde são tomadas decisões importantes no processo, tais como paradas programadas de máquina e alterações no volume de produção. Estes também estão integrados com os sistemas gerenciais, responsáveis pela contabilidade dos produtos e recursos fabris.

## 1.5 - EVOLUÇÃO DO CONTROLE

### 1.5.1 - Controle antigo de processos

Nas primeiras plantas de processo contínuo, o seu controle geralmente requeria muitos operadores, que estavam sempre circulando em torno de cada unidade do processo, observando localmente os instrumentos montados na área industrial e manipulando manualmente as válvulas. A operação global da planta requeria operadores andando na planta com uma agenda, tomando nota dos vários parâmetros críticos. No fim da primeira ronda, o operador fazia cálculos apropriados para a segunda ronda, onde ele ajustava válvulas e outros elementos finais de controle.

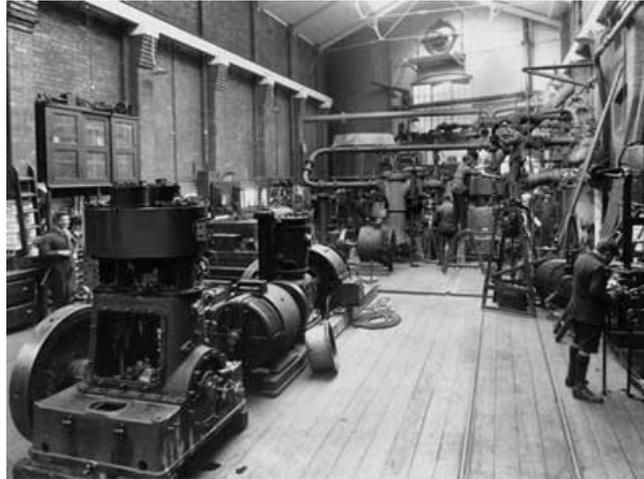


Figura 1.7 – Processo que ainda não fazia uso de painéis de instrumentos.

Isto requeria que cada operador desenvolvesse seu próprio sentimento do processo, que consistia até de uma arte. Um dos desafios em rodar uma planta deste modo era coordenar os vários operadores de modo que eles manipulassem a operação da planta sempre do mesmo modo. Por causa do sentimento da operação ser algo muito subjetivo, a operação da planta poderia variar muito em função dos operadores diferentes que consistia em fator limitante na produtividade da planta.

### 1.5.2 - Aparecimento dos painéis e salas de controle

A tecnologia evoluiu e apareceu o sinal padrão pneumático de 20 a 100 kPa e como conseqüência, apareceu também a sala de controle em grandes plantas. Os instrumentos pneumáticos do painel eram de tamanho grande e eram ligados aos instrumentos de campo através de tubos metálicos ou plásticos. Agora os operadores anotavam os dados em livros de registros e podiam atuar no processo através da sala de controle, sem necessitar ir à área ou andar através da planta. O operador só precisava ir à área industrial para atuar em válvulas mais distantes, quando não era praticável o uso do sinal pneumático, limitado a cerca de 300 metros. Este foi o início do conceito de trazer a planta para o operador, em vez de requerer a ida do operador na planta. Isto reduziu os tempos de atraso nas decisões do operador e melhorou o desempenho do processo. Ficou mais fácil e rápido para o operador fazer interações entre diferentes partes do processo. Tudo era feito através do painel local de controle e monitoração, usando o sinal analógico pneumático, através de tubos. O lado negativo era que não havia muito controle, nem monitoração nem alarme satisfatórios.

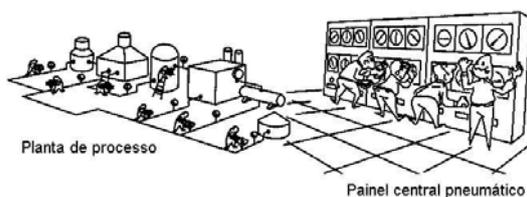


Figura 1.8 a) - Sala de controle com instrumentação pneumática.

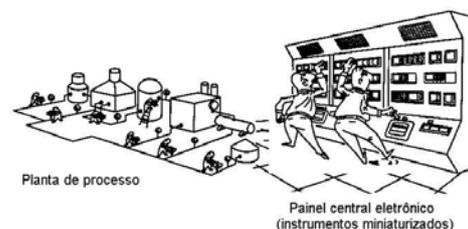


Figura 1.8 b) - Sala de controle com instrumentação eletrônica.

Na década de 50, apareceram os instrumentos eletrônicos, que eram mais robustos e mais práticos para o ambiente industrial. Foi possível fazer mais medições, por causa do menor custo dos sensores. Apareceram novos sensores para medir variáveis que não podiam ser medidas anteriormente, por meio mecânico ou pneumático. Além disso, ficou possível medir variáveis analíticas em linha, em vez de tomar amostras para fazer medições no laboratório.

O tamanho físico dos instrumentos eletrônicos ficou muito menor que o dos instrumentos pneumáticos. A miniaturização dos instrumentos permitiu a diminuição dos painéis e das salas de controle e monitoração. Tudo isso, porém, resultou em uma sala de operação mais complexa, com um número muito maior de fios (os tubos foram substituídos por fios) entrando e saindo da sala de controle. Apareceram também problemas de gerenciamento da informação para os operadores, além dos desafios envolvendo a logística do gerenciamento do sinal para o engenheiro de instrumentação.

### 1.5.3 - Controle do processo com computador

Na década de 1960, o computador digital foi aplicado em controle de processo. Grandes e complexas plantas de processo utilizaram o computador digital em uma única sala de controle centralizada. Como os primeiros computadores foram desenvolvidos para negócios, foi problemático aplicar computadores digitais para fazer o controle de processos analógicos.

### 1.5.4 - Sistemas de automação

A aplicação de automação eletrônica nos processos industriais resultou em vários tipos de sistemas, que podem ser geralmente classificados como:

1. Máquinas com controle numérico
2. Controlador lógico programável
3. Robótica
4. Sistemas flexíveis de manufatura.

### 1.5.5 - Máquina com controle numérico

Uma máquina ferramenta é uma ferramenta ou conjunto de ferramentas acionadas por potência para remover material por furo, acabamento, modelagem ou para inserir peças em um conjunto. Uma máquina ferramenta pode ser controlada por algum dos seguintes modos:

1. Controle contínuo da trajetória da ferramenta onde o trabalho é contínuo ou quase contínuo no processo.
2. Controle ponto a ponto da trajetória da ferramenta onde o trabalho é feito somente em pontos discretos do conjunto.

Em qualquer caso, as três coordenadas (x, y, z ou comprimento, largura e profundidade) devem ser especificadas para posicionar a ferramenta no local correto. Programas de computador existem para calcular a coordenada e produzir furos em papel ou fita magnética que contem os dados numéricos realmente usados para controlar a máquina. A produtividade com controle numérico pode triplicar. No controle numérico, exige-se pouca habilidade do operador e um único operador pode supervisionar mais de uma máquina. Se em vez de usar uma fita para controlar a máquina, é usado um computador dedicado, então o sistema é tecnicamente chamado de máquina controlada numericamente com computador (CNC). Um centro com CNC pode selecionar de uma até vinte ferramentas e fazer várias operações diferentes, como furar, tapar, frezar, encaixar. Se o computador é usado para controlar mais de uma máquina, o sistema é chamado de máquina controlada numericamente e diretamente. A vantagem deste enfoque é a habilidade de integrar a produção de várias máquinas em um controle global de uma linha de montagem. A desvantagem é a dependência de várias máquinas debaixo de um único computador.



Figura 1.9 - Máquina CNC (a esquerda) e detalhe da sua ferramenta (a direita).

### 1.5.6 - Controlador lógico programável

O controlador lógico programável é um equipamento eletrônico, digital, microprocessado, que pode:

1. controlar um processo ou uma máquina
2. ser programado ou reprogramado rapidamente e quando necessário
3. ter memória para guardar o programa.

O programa é inserido no controlador através de microcomputador, teclado numérico portátil ou programador dedicado. O controlador lógico programável varia na complexidade da operação que eles podem controlar, mas eles podem ser interfaceados com microcomputador e operados como um DNC, para aumentar sua flexibilidade. Por outro lado, eles são relativamente baratos, fáceis de projetar e instalar.



Figura 1.10 – CLP modular.

### 1.5.7 - Robótica

Um robô é um dispositivo controlado a computador capaz de se movimentar em uma ou mais direções, fazendo uma seqüência de operações. Uma máquina CNC pode ser considerada um robô, mas usualmente o uso do termo robô é restrito aos dispositivos que tenham movimentos parecidos com os dos humanos, principalmente os de braço e mão. As tarefas que os robôs fazem podem ser tarefas de usinagem, como furar, soldar, pegar e colocar, montar, inspecionar e pintar. Os primeiros robôs eram grandes, hoje eles podem ser pequeníssimos. Quando uma tarefa é relativamente simples, repetitiva ou perigosa para um humano, então o robô pode ser uma escolha apropriada. Os robôs estão aumentando em inteligência, com a adição dos sentidos de visão e audição e isto permite tarefas mais complexas a serem executadas por eles.

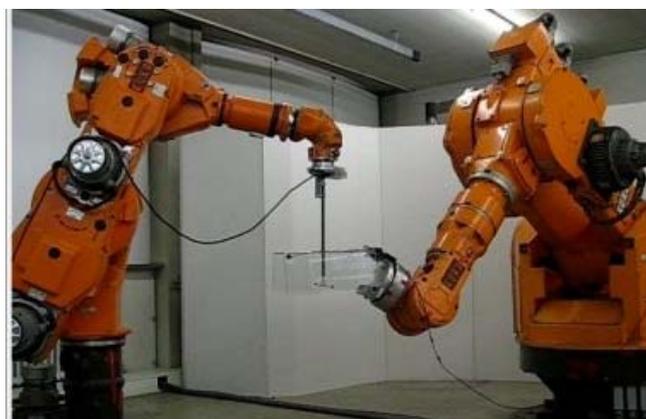


Figura 1.11 – Robôs Industriais.

### 1.5.8 - Sistema de manufatura flexível

A incorporação de máquinas CNC, robótica e computadores em uma linha de montagem automatizada resulta no que é chamado sistema de manufatura flexível. Ele é considerado flexível por causa das muitas mudanças que podem ser feitas com relativamente pouco investimento de tempo e dinheiro. Em sua forma final, matéria prima entra em um lado e o produto acabado sai do almoxarifado em outro lado, pronto para embarque sem intervenção humana.



Figura 1.12 – Robôs Industriais em uma linha de montagem automobilística.

### 1.5.9 - Conclusão

1. Houve uma revolução industrial com automação de processos de manufatura.
2. Automação é o uso da potência elétrica ou mecânica controlada por um sistema de controle inteligente (geralmente eletrônico) para aumentar a produtividade e diminuir os custos.
3. A falta de automação pode aumentar o desemprego.
4. Automação é um meio para aumentar a produtividade.
5. A habilidade de controlar os passos de um processo é a chave da automação.
6. Avanços na eletrônica tornaram possível o controle de sistemas complexos, a um baixo custo.
7. Os vários tipos de sistemas de automação que podem ser aplicados a processos industriais são:
  - máquina com controle numérico
  - controlador lógico programável
  - robótica
  - sistema de manufatura flexível

## 2 - DISPOSITIVOS DE ENTRADA E SENSORES

São aqueles que emitem informações (sinais elétricos) ao sistema por meio de uma ação mecânica, elétrica, eletrônica ou uma combinação entre elas. Entre esses elementos, podemos citar : botoeiras, chaves fim-de-curso, sensores de proximidade, sensores potenciométricos, pressostatos, termostatos, chaves de nível, entre outros.

### 2.1 - Botoeiras

São chaves acionadas manualmente, constituídas por: botão, contato NA (normal aberto) ou NF (normal fechado). Quando seu botão é pressionado, invertem seus contatos, e quando este for solto, devido a ação de uma mola seus contatos voltam à posição inicial.



Figura 2.1 – Exemplos de botoeiras.

## 2.2 - Chaves Fim-de-curso

São chaves acionadas mecanicamente, por meio de um rolete mecânico, ou gatilho (rolete escamoteável), fazendo com que seus contatos sejam invertidos ao serem acionadas. Geralmente são posicionadas no decorrer do percurso de cabeçotes de máquinas, ou hastes de cilindros. Assim, sempre que o atuador atingir a posição desejada é gerado um sinal elétrico o qual pode ser utilizado para, por exemplo, parar o atuador, ativar um sinal de alarme, entre outros. As chaves fim de curso não são recomendadas para aplicações que possuam um alto número de acionamentos.



Figura 2.2 – Exemplos de chaves fim de curso.

## 2.3 - Sensores de proximidade

São chaves eletrônicas que emitem um sinal ao detectar a proximidade de um objeto em esteiras, hastes de cilindros ou cabeçotes de máquinas. Os sensores de proximidade podem ser de diversos tipos, entre eles estão os: indutivos capacitivos e óticos. Podem ser de corrente contínua ou corrente alternada. As grandes vantagens no seu uso são:

1. Não necessitar de energia mecânica para funcionar;
2. Atuar por aproximação, sem contato físico com a peça;
3. São totalmente vedados;
4. Funcionam com elevada velocidade de comutação;
5. São inunes a vibração e choques mecânicos.

## 2.4 - Sensores de Corrente Contínua com Três ou Quatro Fios

Os sensores CC de quatro fios possuem dois fios de alimentação, um fio ligado a um contato NA e um fio ligado a um contato NF. Os sensores CC de três fios possuem somente o contato NA. Os sensores CC de três ou quatro fios são divididos em dois tipos: PNP e NPN.

**Sensores PNP** – são os sensores que possuem saída positiva, ou seja, a carga é ligada entre a saída do sensor e o negativo da alimentação.

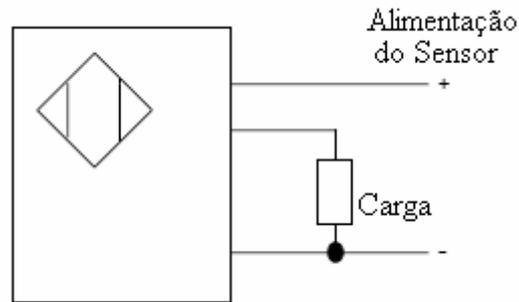


Figura 2.3 – Montagem de um sensor PNP.

**Sensores NPN** – são os sensores que possuem saída negativa, ou seja, a carga é ligada entre a saída do sensor e o positivo da alimentação.

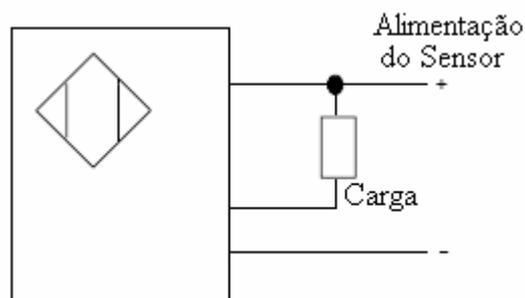


Figura 2.4 – Montagem de um sensor NPN.

### 2.5 - Sensores de Corrente Contínua com Dois Fios

Os sensores CC de dois fios devem ser ligados em série com a carga. Neste tipo de sensor é importante observar que a alimentação do circuito é feita através da própria carga, portanto não é recomendado para acionar cargas eletrônicas com corrente de manutenção muito baixa.

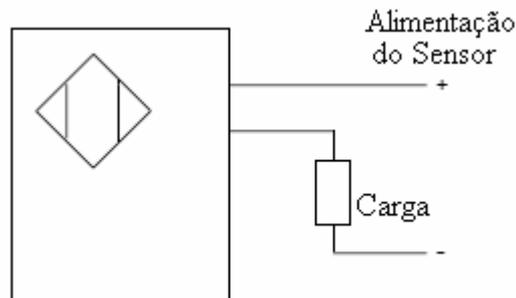


Figura 2.5 – Montagem de um sensor CC com dois fios.

### 2.6 - Sensores de Corrente Alternada de Três ou Quatro Fios

Assim como os sensores CC de três ou quatro fios, utilizam dois fios para a alimentação e dois fios para contatos. Nesse tipo de sensor a carga é ligada entre a saída do sensor e o neutro e são encontrados, normalmente, para tensões de 127V a 250V.

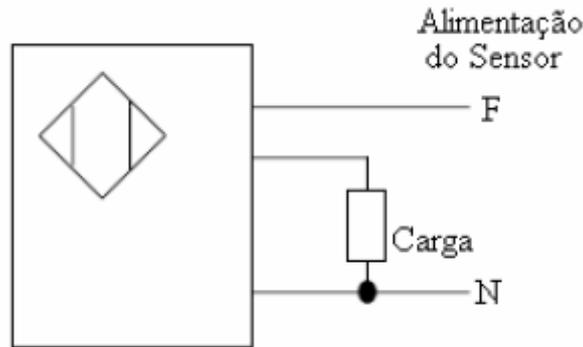


Figura 2.6 – Montagem de um sensor CA.

## 2.7 - Resumo dos Tipos de Saída

Conforme a necessidade do sistema deve-se optar pela configuração eletrônica mais apropriada, que são mostradas a seguir.

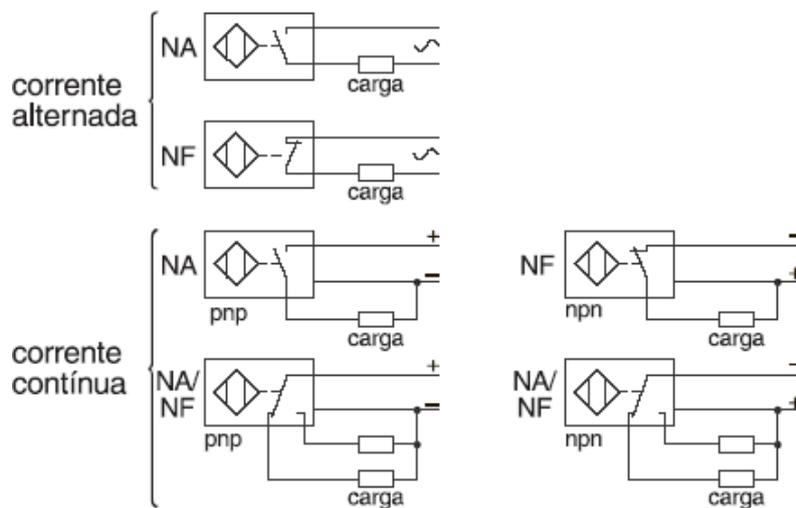


Figura 2.7 – Resumo dos tipos de saída.

## 2.8 - Características dos Sensores de Proximidade

**Face Sensora** – é a face do sensor sensível a aproximação do alvo.

**Distância Sensora** – é a distância em que a aproximação de um acionador provoca a alteração no estado da saída de um sensor.

**Alvo Padrão** – O alvo padrão é uma plaqueta quadrada de aço carbono, com 1 mm de espessura, com comprimentos dos lados iguais ao diâmetro da face ativa ou 3 vezes o alcance nominal, o que for maior.

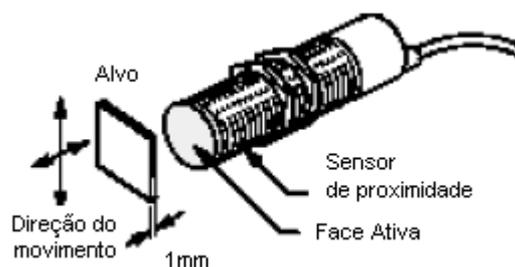


Figura 2.8 – Elementos de um sensor de proximidade.

**Distância Sensora Nominal ( $S_n$ )** – é a distância máxima que o sensor pode operar utilizando um alvo padrão.

**Fatores de Correção (F)** – são os fatores utilizados para a determinação do alcance de materiais diferentes do alvo padrão.

**Frequência de Comutação** – é a velocidade com que o sensor modifica o seu estado de saída conforme o alvo entra e sai do campo de detecção do sensor. A frequência de comutação depende do tamanho do alvo, da distância entre a face ativa do sensor e o alvo, da velocidade do alvo e do tipo de sensor.

**Histerese** – É a diferença entre a distância a qual o sensor é ativado quando dele se aproxima o objeto, e a distância a qual é desativado quando dele se afasta o mesmo objeto.

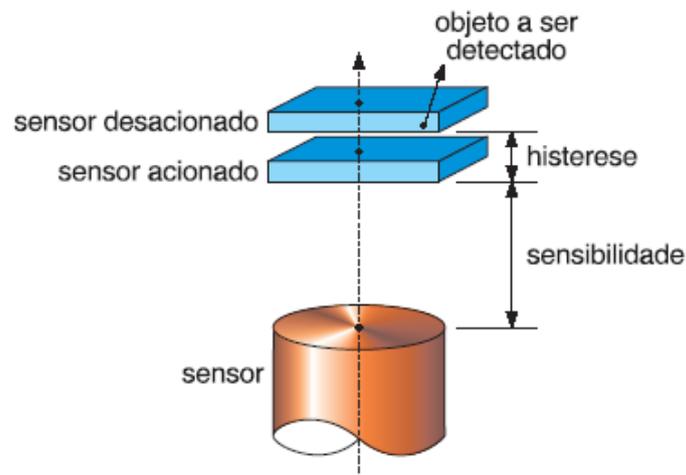


Figura 2.9 – Histerese.

## 2.9 - Sensores Indutivos

Os sensores indutivos juntamente com os sensores capacitivos foram desenvolvidos para atender as necessidades dos sistemas modernos de produção onde é necessário conciliar altas velocidades e elevada confiabilidade. Esse tipo de sensor substitui frequentemente as chaves fim de curso. Devido ao encapsulamento e as características dos componentes eletrônicos empregados em seus circuitos eletrônicos, os sensores são particularmente capazes de operar em condições severas de trabalho, como a presença de lubrificantes, óleos, imersos na água, etc.



Figura 2.10 – Sensores indutivos e sua simbologia.

### 2.9.1 - Princípio de funcionamento

Um circuito eletrônico forma um campo eletromagnético defronte a face sensora do sensor. Ao inserirmos nessa região um corpo metálico, parte desse campo é absorvido, provocando a comutação do sinal de saída do sensor.

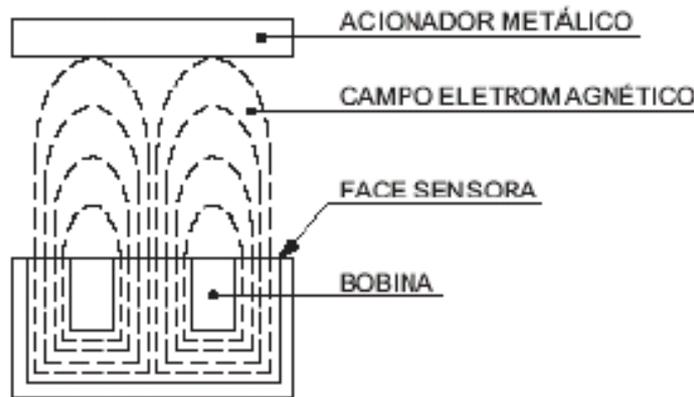


Figura 2.11 – Elementos de um sensor indutivo.

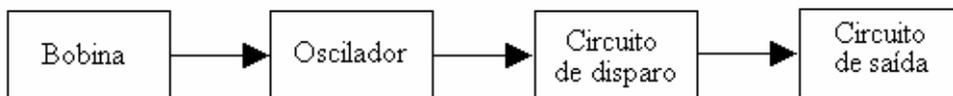


Figura 2.12 – Diagrama de blocos dos elementos em um sensor indutivo.

O alvo metálico se aproximando de um sensor absorve energia gerada pelo oscilador. Quando o alvo está perto, o dreno de energia pára o oscilador e causa a comutação da saída.

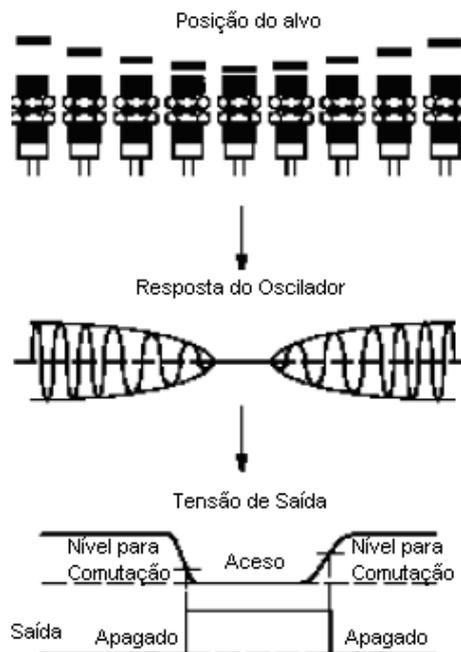


Figura 2.13 – Funcionamento do circuito de detecção de um sensor indutivo.

**2.9.2 - Distância Sensora Operacional ( $S_a$ )** – é a distância na qual o sensor pode operar com segurança, considerando variações de temperatura, tensão, entre outros fatores.

Considerando um alvo padrão metálico de aço carbono pode considerar-se a seguinte expressão:

$$S_a \leq 0,81 \times S_n$$

Onde:

$S_a$  é a distância sensora operacional

$S_n$  é a distância sensora nominal

A distância de acionamento depende do tamanho do alvo e de sua superfície. Quando o material metálico a ser detectado for diferente do alvo padrão de aço carbono deve-se utilizar um fator de correção conforme a expressão:

$$S_a \leq 0,81 \times S_n \times F$$

Onde: F é um fator de correção

Os fabricantes fornecem tabelas que listam os materiais e os seus respectivos fatores de correção. Um exemplo pode ser observado na Tabela 2.1.

Exemplo: O aço inox tem um fator de correção de 0,85. Com isso, o alcance de um alvo de aço inox é menor em relação a um alvo padrão de aço carbono.

### 2.9.3 - Exemplo do cálculo da distância sensora nominal de um sensor indutivo

1° Passo) Obter a distância sensora operacional medindo a distância que o alvo encontra-se do sensor.

2° Passo) Verificar o valor do fator de correção diretamente na tabela do fabricante.

3° Passo) Encontrar  $S_n$  através da equação.

$$S_n = S_a \div (0,81 \times F)$$

Deve ser especificado um valor de  $S_n$  comercial imediatamente superior ao calculado.

Material	Fator
Ferro ou Aço	1,0
Cromo Níquel	0,9
Aço Inox	0,85
Latão	0,5
Alumínio	0,4
Cobre	0,3

Tabela 2.1 - Fatores de correção para sensores indutivos.

### 2.10 - Sensores Blindados e Não-Blindados

Os sensores blindados concentram o campo eletromagnético em frente ao sensor permitindo montagem rente em um suporte metálico como pode ser observado na Figura 2.14.

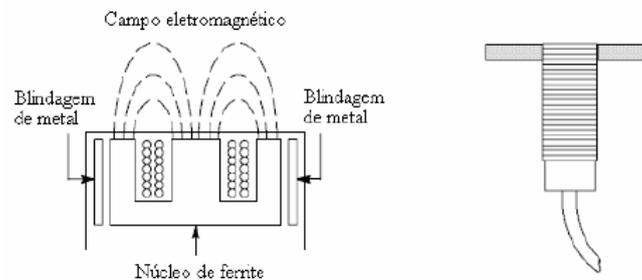


Figura 2.14 –Sensor indutivo blindado.

Os sensores não blindados devem ser montados com uma zona livre de metal em torno da face ativa do sensor como pode ser observado na Figura 2.15.

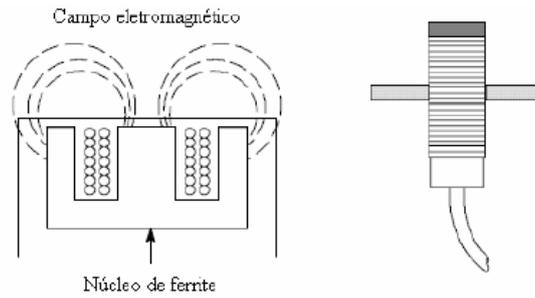


Figura 2.15 – Sensor indutivo não blindado.

### 2.11 - Sensores Capacitivos

Os sensores capacitivos são utilizados para detectar a aproximação de materiais orgânicos, plásticos, pós, líquidos, madeiras, papéis, metais, entre outros. O alvo padrão utilizado para sensores capacitivos é o mesmo alvo padrão utilizado para sensores indutivos. Na Figura 2.16 se pode observar a simbologia de sensores capacitivos e na Figura 2.16 é representada a construção básica de um capacitor.



Figura 2.16 – Sensores capacitivos e sua simbologia.

O sensor é constituído de um capacitor formado por duas placas metálicas com cargas opostas e separadas pelo ar o qual é o dielétrico. As placas projetam o campo eletrostático gerado pelo capacitor à frente do sensor. A capacitância depende do tamanho do alvo, da constante dielétrica do alvo e da distância entre o alvo e a face do sensor. O funcionamento do sensor é baseado na geração de um campo eletrostático pelo sensor. Quando o alvo se aproxima do sensor a capacitância do circuito interno ao sensor aumenta. Com isso, quando a capacitância alcança um determinado valor um circuito oscilador é ativado acionando, por conseguinte, o circuito de saída do sensor. O diagrama em blocos de um sensor capacitivo pode ser observado na Figura 2.17.

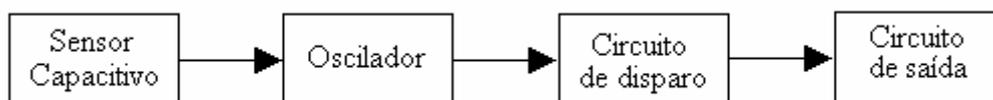


Figura 2.17 – Diagrama de blocos dos elementos em um sensor capacitivo.

Distância Sensora Operacional ( $S_a$ ) – Em sensores capacitivos é considerado, além dos fatores de industrialização (81% de  $S_n$ ), um fator relativo ao dielétrico do material a ser detectado conforme a seguinte expressão:

$$S_a \leq 0,81 \times S_n \times F(\xi)$$

Onde:

- $S_a$  é a distância sensora operacional
- $S_n$  é a distância sensora nominal
- $F(\xi)$  é um fator de correção

Os fabricantes fornecem tabelas contendo o valor da rigidez dielétrica dos materiais sendo necessária a visualização de um gráfico que relaciona a rigidez dielétrica ao fator de correção a ser utilizado.

Material	$\epsilon$
Ar, vácuo	1
Óleo, papel, petróleo, poliuretano, parafina, silicone, teflon	2 a 3
Araldite, baquelite, quartzo, madeiras	3 a 4
Vidro, papel grosso, borracha, porcelana	4 a 5
Mármore, pedras, madeiras pesadas	6 a 8
Água, alcoólicos, soda cáustica	9 a 80

Tabela 2.2 - Valores de rigidez de alguns materiais.

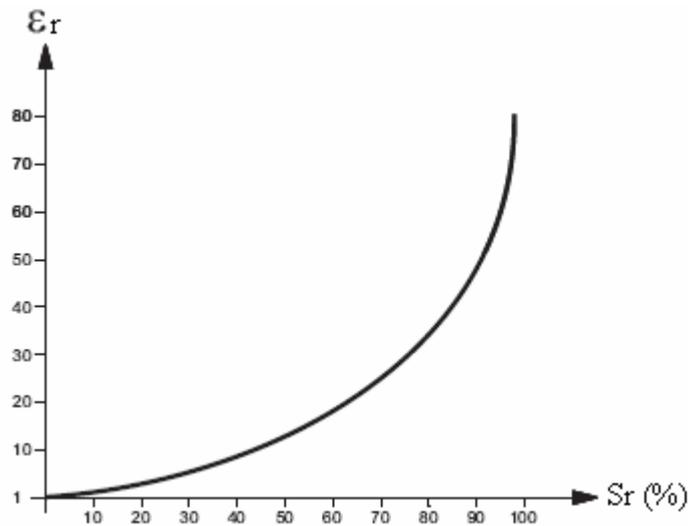


Figura 2.18 – Gráfico que relaciona a rigidez dielétrica ao fator de correção.

### 2.11.1 - Sensores Blindados e Não-Blindados

Os sensores blindados permitem a utilização dos sensores na detecção de materiais de constantes dielétricas baixas, deixando o sensor sensível a poeira e umidade na face ativa. Na Figura 2.19 se pode observar a construção de um sensor capacitivo blindado.

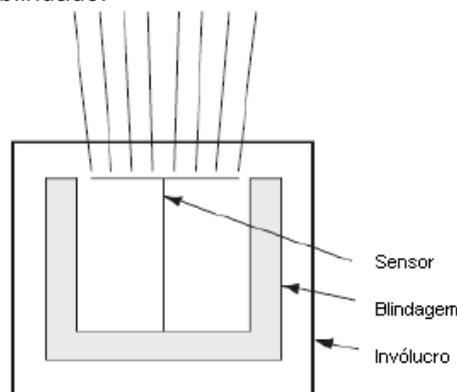


Figura 2.19 – Construção de um sensor capacitivo blindado.

Os sensores não blindados permitem a utilização dos sensores na detecção de materiais de constantes dielétricas altas. Com isso, não são sensíveis a poeira na face ativa. Na Figura 2.20 se pode observar a construção de um sensor capacitivo não blindado.

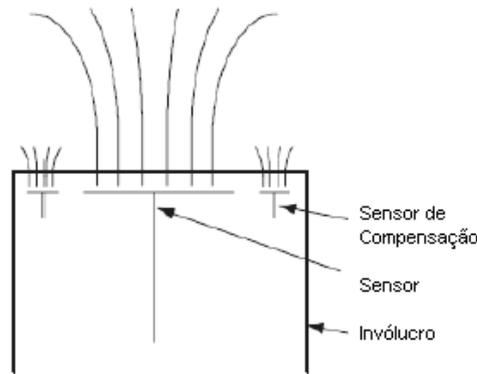


Figura 2.20 – Construção de um sensor capacitivo não blindado.

Esses sensores são indicados para detecção de nível de líquido através da parede do tanque onde o fluido está armazenado.

### 2.11.2 - Ajuste de Sensibilidade

O ajuste de sensibilidade diminui a influência de acionamentos laterais no sensor e permite através de ajuste fino a detecção de materiais dentro de outros como pode ser observado na Figura 2.21.

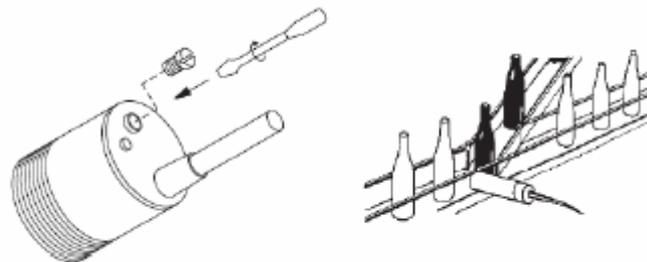


Figura 2.21 – Ajuste de sensibilidade e detecção de líquido dentro de garrafa.

### 2.11.3 - Exemplo do cálculo da distância sensora nominal de um sensor capacitivo

1º Passo) Obter a distância sensora operacional medindo a distância que o alvo encontra-se do sensor. Ex.: 5mm.

2º Passo) Verificar a rigidez dielétrica do material do alvo na tabela do fabricante. Ex.: madeira pesada ( $\xi_r = 6$ ).

3º Passo) Verificar o valor do fator de correção percentual no gráfico fornecido pelo fabricante e dividir o valor encontrado por 100 para obter o fator de correção.

$$F = 30 \div 100 = 0,3$$

4º Passo) Encontrar  $S_n$  através da equação.

$$S_n = S_a \div (0,81 \times F(\xi))$$

$$S_n = 20,58 \text{ mm}$$

Deve ser especificado um valor de  $S_n$  comercial imediatamente superior ao calculado.

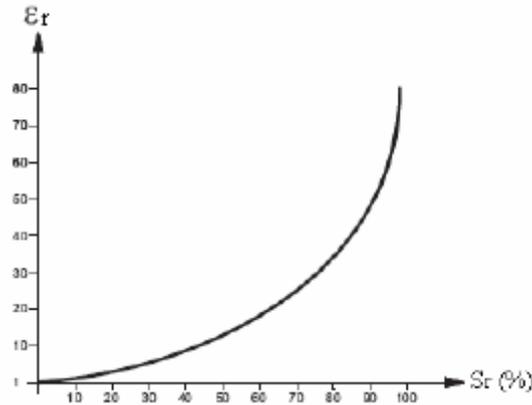


Figura 2.22 – Fator de correção X rigidez dielétrica.

## 2.12 - Sensores Óticos ou Fotoelétricos

Sensores óticos são sensores capazes de detectar a presença de um acionador através da emissão e recepção de luz. O funcionamento dos sensores baseia-se na transmissão e recepção de luz infravermelha a qual é invisível ao olho humano. O transmissor envia o feixe de luz através de um fotodiodo, com alta potência e curta duração, para evitar que o receptor confunda a luz emitida com a luz ambiente. O receptor é composto por um fototransistor e um filtro sintonizado na mesma frequência de pulsação do transmissor, o que permite o funcionamento correto. Os sensores óticos podem ser de três tipos: Sistema por barreira, sistema por difusão e sistema refletivo.

### 2.12.1 - Sensor Ótico Por Barreira

Na Figura 2.23 se pode observar a simbologia utilizada para representar sensores óticos por barreira.

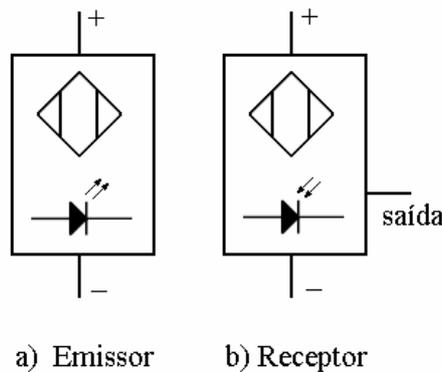


Figura 2.23 – Simbologia de sensores óticos por barreira.

No sensor ótico por barreira o acionamento ocorre quando o alvo interrompe o feixe de luz disposto entre duas unidades independentes colocadas frente a frente. Uma das unidades contém o transmissor enquanto a outra unidade contém o receptor. Na Figura 2.24 pode ser observado o acionamento de um sensor ótico por barreira.

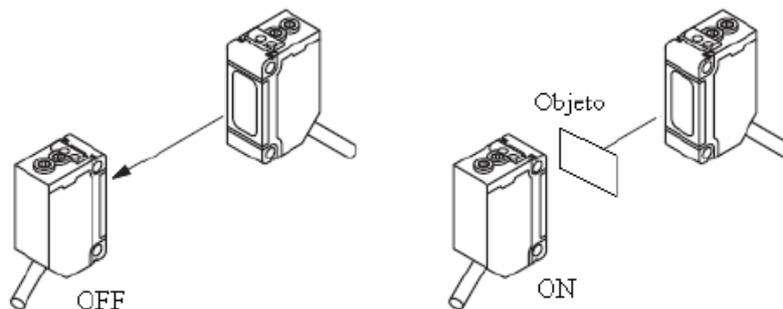


Figura 2.24 – Acionamento de um sensor ótico por barreira.

Neste tipo de sistema devem-se respeitar as recomendações de dimensões mínimas do objeto, pois existe a possibilidade do feixe de luz contornar o objeto. Na Figura 2.25 pode ser observado um feixe de luz emitido por um sensor contornando um objeto pequeno.

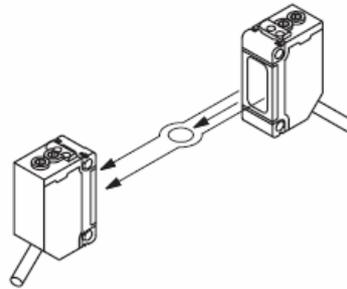


Figura 2.25 – Feixe de luz contornando um objeto.

### 2.12.2 - Sensor Ótico Por Difusão

Na Figura 2.26 se pode observar a simbologia utilizada para representar sensores óticos por difusão.

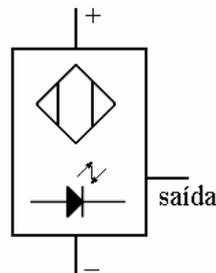


Figura 2.26 – Simbologia de sensores óticos por difusão

No sensor ótico por difusão o acionamento ocorre quando o alvo a ser detectado entra na região de sensibilidade e reflete ao receptor a luz emitida pelo transmissor sendo que o transmissor e o receptor são montados na mesma unidade. Na Figura 2.27 pode ser observado o acionamento de um sensor ótico por difusão.

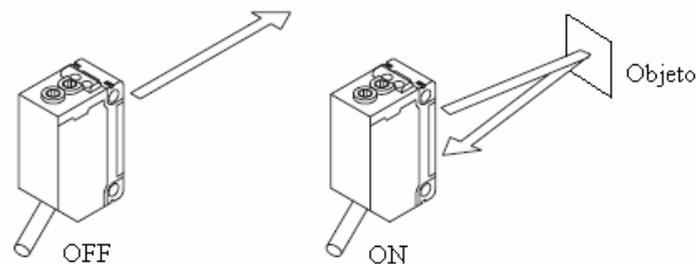


Figura 2.27 – Acionamento de um sensor ótico por difusão

O alvo padrão dos sensores óticos por difusão consiste de uma folha de papel fotográfico branco com índice de refletividade de 90% com dimensões que variam de acordo com o modelo do sensor.

A distância sensora operacional utiliza um fator de correção que depende de vários fatores os quais são acumulativos. Por exemplo, existe um fator de correção para cores diferentes ( $F_c$ ) e outro para materiais diferentes ( $F_m$ ). Assim, ambos devem ser considerados conforme a seguinte expressão:

$$S_a \leq 0,81 \times S_n \times F_c \times F_m$$

Onde:  $S_a$  é a distância sensora operacional

$S_n$  é a distância sensora nominal

$F_c$  é um fator de correção devido a cor do material

$F_m$  é um fator de correção devido ao tipo do material

Os fatores de correção podem ser observados na Tabela 2.3.

Cor	F <sub>c</sub>	Material	F <sub>m</sub>
Branco	0,95 a 1	Metal polido	1,2 a 1,8
Amarelo	0,9 a 0,95	Metal usinado	0,95 a 1
Verde	0,8 a 0,9	Papéis	0,95 a 1
Vermelho	0,7 a 0,8	Madeira	0,7 a 0,8
Azul claro	0,6 a 0,7	Borracha	0,4 a 0,7
Violeta	0,5 a 0,6	Papelão	0,5 a 0,6
Preto	0,2 a 0,5	Pano	0,5 a 0,6

Tabela 2.3 – Fatores de correção para sensores óticos

O sensor por difusão possui uma zona morta (ZM) que consiste de uma zona próxima ao sensor onde não é possível a detecção do objeto. A zona morta tem o valor de aproximadamente 10 a 20% da distância nominal.

### 2.12.3 - Sensor Ótico Refletivo

No sensor ótico refletivo o acionamento ocorre quando o objeto a ser detectado interrompe o feixe de luz que chega ao receptor refletido por um espelho prismático. Nesses sensores o transmissor e o receptor são montados em uma única unidade. Na Figura 2.28 pode ser observado o acionamento de um sensor ótico refletivo.

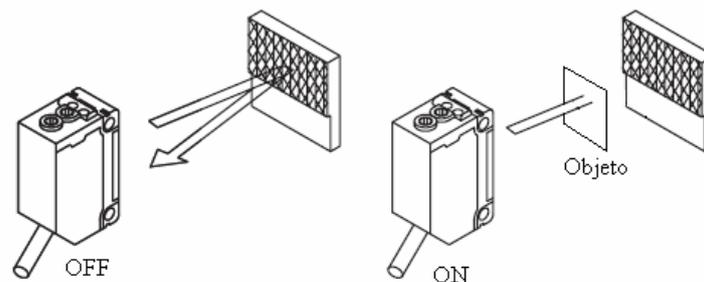


Figura 2.28 – Acionamento de um sensor ótico refletivo

A construção do espelho prismático não permite que a luz se espalhe por vários ângulos. Na Figura 2.29 se pode observar a construção de um espelho prismático.

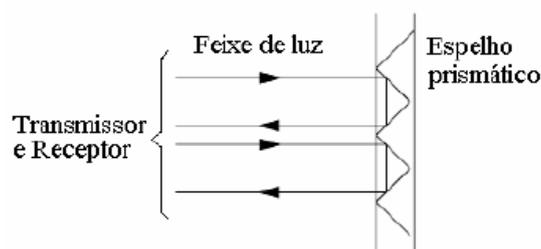


Figura 2.29 – Construção de um espelho prismático

### 2.13 - Potenciômetro:

Quando se aplica uma tensão nos extremos de um potenciômetro linear, a tensão entre o extremo inferior e o centro (eixo) é proporcional à posição linear (potenciômetro deslizante) ou angular (rotativo).



Figura 2.30 – Potenciômetro Linear Rotacional

Nos sistemas de controle usam-se potenciômetros especiais, de alta linearidade e dimensões adequadas, de fio metálico em geral, com menor desgaste.



Figura 2.31 – Diagrama Esquemáticos e aspecto de potenciômetros lineares

### 2.14 - Pressostato

O Pressostato é um instrumento de medição de pressão utilizado como componente do sistema de proteção de equipamento ou processos industriais. Sua função básica é de proteger a integridade de equipamentos contra sobrepessão ou subpressão aplicada aos mesmos durante o seu funcionamento. É constituído em geral por um sensor, um mecanismo de ajuste de set-point e uma chave de duas posições (aberto ou fechado). Como mecanismo de ajuste de set-point utiliza-se na maioria das aplicações uma mola com faixa de ajuste selecionada conforme pressão de trabalho e ajuste, e em oposição à pressão aplicada. O mecanismo de mudança de estado mais utilizado é o micro interruptor, podendo ser utilizado também ampola de vidro com mercúrio fechando ou abrindo o contato que pode ser do tipo normal aberto ou normal fechado.

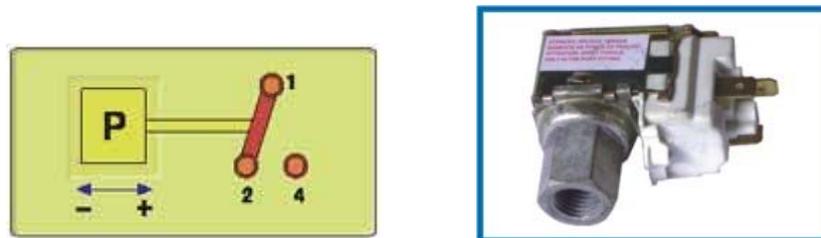


Figura 2.32 – Diagrama Esquemático e aspecto de pressostato

### 2.15 - Termostato

Termostato é um dispositivo destinado a manter constante a temperatura de um determinado sistema, através de regulação automática. A função do termostato é impedir que a temperatura de determinado sistema varie além de certos limites preestabelecidos. Um mecanismo desse tipo é composto, fundamentalmente, por dois elementos: um indica a variação térmica sofrida pelo sistema e é chamado elemento sensor; o outro controla essa variação e corrige os desvios de temperatura, mantendo-a dentro do intervalo desejado. Termostatos controlam a temperatura dos refrigeradores, ferros elétricos, ar condicionado e muitos outros equipamentos. Exemplo de elemento sensor são as tiras bimetálicas, constituídas por metais diferentes, rigidamente ligados e de diferentes coeficientes de expansão térmica. Assim, quando um bimetal é submetido a uma variação de temperatura, será forçado a curvar-se, pois os metais não se dilatam igualmente. Esse encurvamento pode ser usado para estabelecer ou interromper um circuito elétrico, que põe em movimento o sistema de correção.



Figura 2.33 – Diagrama Esquemático e aspecto de termostato

### 2.16 - Chave de Nível Bóia Lateral

Este instrumento foi desenvolvido para aplicações que necessitam detectar e controlar o nível de tanques ou reservatórios onde são armazenados materiais líquidos como água, produtos químicos (agressivos ou não), óleos, entre outros.

Instalada na lateral do tanque, a chave tem seu funcionamento baseado em uma bóia cujo movimento é transmitido a uma haste e esta, a um magneto localizado no interior do invólucro através de acoplamento magnético, provocando assim a atuação de um contato elétrico.

As partes molhadas são fabricadas em Aço Inox e diversas opções de conexões elétricas estão disponíveis como rosca ou flanges. Entre outras características estão : funcionamento sem a necessidade de alimentação elétrica; diferencial ajustável ou fixo; versões para áreas classificadas, altas temperaturas e pressões; fácil instalação e manuseio além de não ser afetado por determinadas características do processo como presença de espuma, gases/vapores, mistura de líquidos ou variações de constante dielétrica ou condutividade.



Figura 2.34 – Sensores de nível tipo bóia lateral

### 2.17 - Chave de Nível Bóia Pêra

É um regulador de nível para produtos líquidos de funcionamento extremamente simples e confiável utilizado em diversas funções como alarme ou controle de nível bem como em automação de dispositivos elétricos (bombas ou válvulas).

Suspensa por um cabo de PVC, a chave tem seu funcionamento em função da inclinação do invólucro; quando esta é maior que 45°, o contato elétrico é acionado. O ponto de atuação é definido por meio de um contrapeso que acompanha o instrumento.



Figura 2.35 – Sensores de nível tipo pêra

### 2.18 - Chave de Nível Pá Rotativa

É um instrumento eletromecânico utilizado na detecção e controle de nível de silos contendo materiais sólidos como granulados, minérios, brita, entre outros.

As pás da chave permanecem em constante rotação em baixa velocidade movidas por um pequeno motor localizado no interior do invólucro. Este motor é automaticamente desligado quando o produto atinge uma das pás impedindo a rotação normal e deste modo, prolongando a vida útil do componente.



Figura 2.36 – Sensores de nível tipo pá rotativa

### 2.19 - Chave de Nível Vibratória

É um instrumento destinado à detecção e controle de nível de silos contendo materiais sólidos como granulados e pós. Seu funcionamento baseia-se na vibração da haste metálica por um cristal piezoelétrico colocado em seu interior, sendo a saída ON/OFF acionada quando o produto toca a haste.



Figura 2.37 – Sensores de nível tipo chave vibratória

## 3 - DISPOSITIVOS DE SAÍDA E ATUADORES

Recebem as informações (sinais elétricos) enviadas pelo sistema, com a finalidade de auxiliar ou até mesmo realizar diretamente um trabalho elétrico, mecânico, pneumático ou hidráulico em uma máquina ou processo industrial, ou apenas a fim de realizar sinalização visual ou sonora aos operadores.

Entre esses elementos, podemos citar: relés, contadores, solenóides de válvulas, cilindros, válvulas de controle proporcional, inversores de frequência, motores, entre outros.

### 3.1 - Cilindros

Também conhecidos como atuadores pneumáticos ou hidráulicos, podem ser do tipo linear, rotativo ou oscilante. Os mais comuns são os do tipo linear, que transformam a pressão do ar comprimido ou do óleo, em movimento linear e força. Os tipos de cilindros lineares mais utilizados são o de simples ação e o de dupla-ação.

O cilindro de simples ação, possui um único orifício pelo qual o ar ou óleo entra e sai. Ao colocarmos pressão neste cilindro ele é movimentado e ao retirarmos pressão, uma mola retorna a haste do cilindro para a posição original. Já os cilindros de dupla-ação, possuem dois orifícios pelos quais podem entrar e sair o ar ou óleo, dependendo do movimento desejado, portanto, um orifício serve para o avanço do cilindro e outro para o seu retorno. O fluxo de ar ou óleo que o cilindro recebe, é transmitido por válvulas direcionais.



Figura 3.1 –Exemplos de cilindros e simbologia

### 3.2 - Válvulas direcionais

Para os cilindros pneumáticos e hidráulicos trabalharem, efetuando seu avanço e recuo, é necessária a utilização de válvulas que permitam direcionar o fluxo de ar comprimido ou óleo para dentro ou para fora do cilindro.

As válvulas direcionais são descritas pelo número de vias e posições que ele possui. As vias, são conexões de entrada, saída e escape de ar ou óleo, e as posições são a quantidade de manobras que a válvula permite realizar, como por exemplo uma válvula de 2 vias e 2 posições, permite ora a passagem de ar ora o bloqueio de ar da entrada para a saída.

As válvulas podem ser acionadas por comando manual, elétrico, pneumático ou mecânico. Normalmente são utilizadas solenóides (bobinas eletromagnéticas) para a mudança de posição da válvula, pois tem a vantagem de ser acionada a distância e com bastante segurança e precisão.



Figura 3.2 –Exemplos de válvulas e um tipo de simbologia

### 3.3 - Motores elétricos

São equipamentos que, quando energizados, realizam movimentos giratórios de seu eixo, que podem ser medidos em Rotações por minuto (Rpm). Existem motores de diversos tipos e finalidades, variando de acordo com sua forma construtiva e tipo de alimentação (tensão contínua ou alternada), consumo de corrente, etc.

São utilizados para inúmeras aplicações: movimentar e acionar esteiras, elevadores, bombas, compressores, partes móveis de máquinas, extrusoras, robôs, misturadores, ventiladores, furadeiras, bem como sua utilização já bastante difundida na área de eletrodomésticos, automóveis, aviões, etc.



Figura 3.3 –Exemplos de motor elétrico e simbologia

### 3.4 - Relés e Contatores

Relés, são chaves composta de vários contatos, acionadas por bobinas eletromagnéticas. São utilizados para comando, sinalização e intertravamento de circuitos elétricos. Quando a bobina é energizada, os contatos NA (normal aberto) fecham e os contatos NF (normal fechado) abrem, permitindo ou interrompendo a passagem de corrente elétrica por eles. Quando a bobina é desenergizada, uma mola retorna os contatos a posição original.



Figura 3.4 –Exemplos de contatores e simbologia

Os contatores, apresentam as mesmas características dos relés, porém seus contatos são dimensionados para suportarem correntes mais elevadas, permitindo assim sua utilização no acionamento direto de motores.

## 4 - SISTEMAS DIGITAIS PARA AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS

### Introdução

Atualmente, os instrumentos são utilizados em sistemas integrados e completos, que podem ser abertos ou proprietários. Sistema aberto é aquele cujos equipamentos e protocolos de ligação podem ser fornecidos por vários fabricantes diferentes. Sistema fechado ou proprietário é aquele patenteado, que só pode ser fornecido por um unido fabricante. Atualmente, é raro se utilizar instrumentos isolados para a medição, controle, monitoração e automação de algum processo.

A base do sistema de controle é o computador digital, que pode ser de uso geral ou específico. Geralmente, o que determina o tamanho e as características do sistema é o tipo de processo e a aplicação. Os principais sistemas utilizados são:

1. Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD)
2. Controlador Lógico Programável (CLP)
3. Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA)

De um modo resumido pode-se dizer que se utiliza

1. O SDCD para o controle de processos contínuos complexos, que incluem muitas malhas de controle PID.
2. O SCADA para controle de processos simples, que tenham muitas operações de liga-desliga.
3. O CLP é utilizado para prover o alarme e intertravamento do processo ou como coletor de dados no sistema SCADA.

Assim, o SDCD é aplicado para o controle e a monitoração de refinarias de petróleo, siderúrgicas e de grandes plantas com controle contínuo, nas áreas de papel e celulose ou indústria farmacêutica. O SCADA é usado na monitoração e controle de terminais de óleo e gás, plataformas de petróleo, onde os processos incluem movimentação de fluidos. Embora o CLP seja um dos componentes do SCADA, ele também é utilizado em combinação com o SDCD, em sistemas complexos. Nessa configuração, o SDCD é responsável pelo controle regulatório e avançado do processo e o CLP é responsável pelo alarme e intertravamento do mesmo processo. Por questão de segurança e da causa comum, as normas (IEC 61 508 e ISA 84.01) não permitem que um mesmo sistema (por exemplo, o SDCD) seja responsável simultaneamente pelo controle e pela segurança do mesmo processo.

### 4.1 - Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD)

O primeiro sistema digital de controle distribuído (SDCD) foi lançado no mercado em 1974, pela Honeywell, modelo TDC 2000. Desde então, ele percorre um longo caminho, sempre evoluindo e usufruindo as vantagens inerentes ao avanço tecnológico da eletrônica e da informática. Assim, já há várias gerações de SDCD, com diferenças significativas nos elementos chave de seu sistema, incluindo filosofia de operação, microprocessadores e esquemas de comunicação. Por conveniência, o SDCD deve ser ligado a instrumentação de campo (transmissores e válvulas) inteligente ou microprocessada.

Os benefícios se referem a facilidade de interfaceamento, redução de fiação, melhor desempenho metrológico global, facilidade de rearranjo remoto, possibilidade de diagnóstico e redução de custos de compra e calibração dos instrumentos. A alta densidade de dos módulos de entrada e saída (I/O) pode economizar painéis e espaço em grandes sistemas de SDCD. Também há economia na fiação entre os equipamentos de campo e o SDCD, mesmo quando se tem redundâncias de comunicação, pois uma linha de comunicação redundante através de toda a planta custa muito menos do que centenas ou até milhares de fios individuais entre o campo e a sala de controle central.

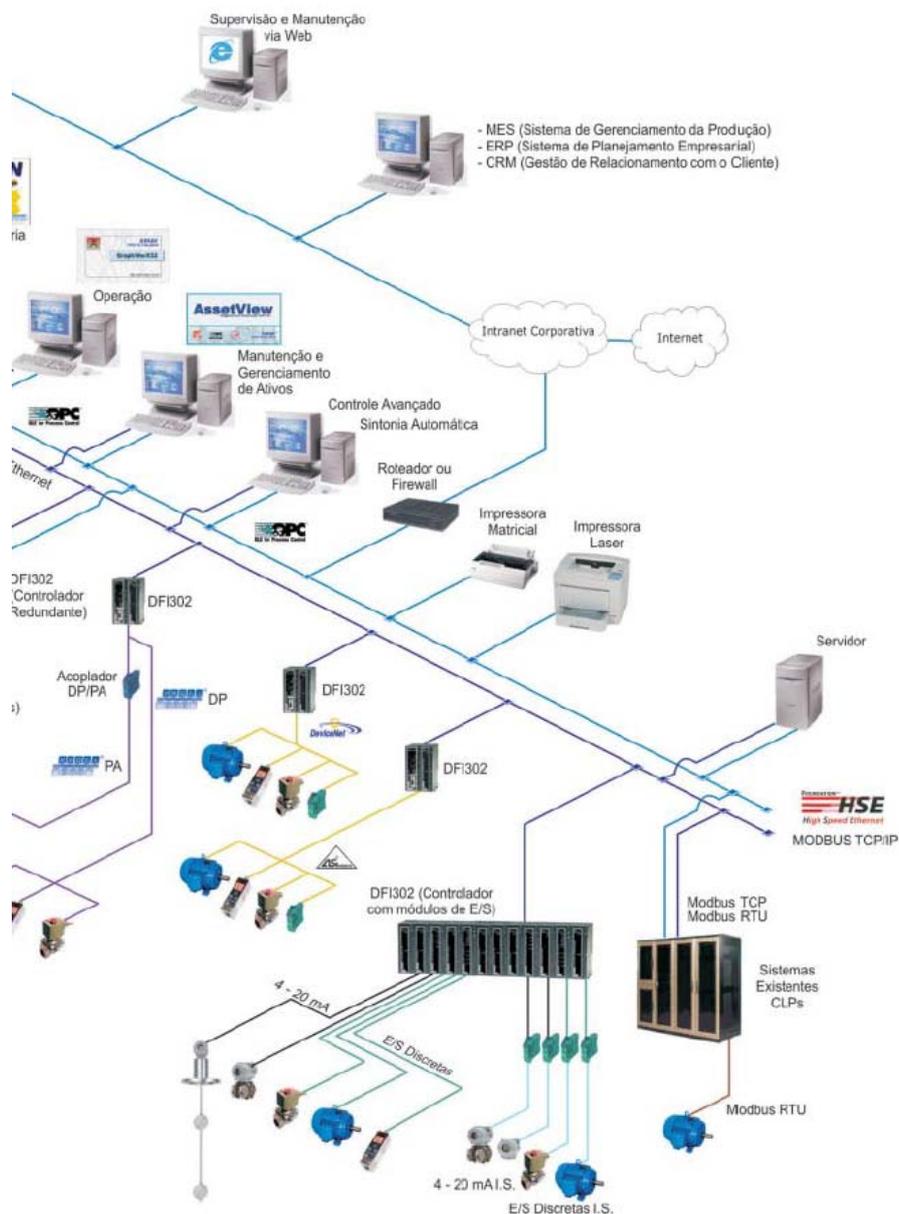


Figura 4.1 –Exemplo de Sistema SDCD

Atualmente, no Brasil, os SDCDs mais usados são da Emerson, Foxboro (Invensys) e Yokogawa. Alguns sistemas antigos foram construídos por fabricantes que agora pertencem a uma destas três grandes empresas. Por exemplo, o SDCD da Fisher Controls, Provox, agora é fabricado pela Emerson, que também fabrica o DeltaV. Outros sistemas menos usados são da Bailey (Infi90), Taylor (Mod300), Fischer & Porter (DCI F&P), Measurex (Vision) e Honeywell (TDC 3000). Atualmente, todos os sistemas digitais apresentam aproximadamente as mesmas características e capacidades e estão sempre evoluindo, para tirar as vantagens da eletrônica, comunicação digital e informática. Os detalhes e especificações de cada sistema podem ser obtidos facilmente dos fabricantes, inclusive pela internet.

#### 4.2 - Controlador Lógico Programável (CLP)

O controlador lógico programável (CLP) é um equipamento eletrônico, digital, baseado em microprocessador, que pode

1. Controlar um processo ou uma máquina
2. Ser programado e reprogramado rapidamente
3. Ter memória para guardar o programa.

O programa do usuário (diagrama ladder ou lista de instruções) é inserido no CLP através de microcomputador, teclado numérico portátil ou programador dedicado. Depois de carregado o programa, o programador é desconectado do CLP. Como o CLP é fácil de projetar e instalar e relativamente barato, quando comparado a um SDCD, ele é o sistema digital padrão para coletar dados de processo. O CLP foi projetado para uso em automação de fábrica, quando a operação requeria tarefas muito rápidas, repetitivas, como em linhas de montagem. Estas exigências não são típicas de uma planta de processo, mas há algumas operações que podem usar as capacidades poderosas de um CLP, principalmente as de alarme e intertravamento. O CLP de hoje pode ser muito mais eficiente para executar sequenciamento, operações de alarme e de intertravamento.

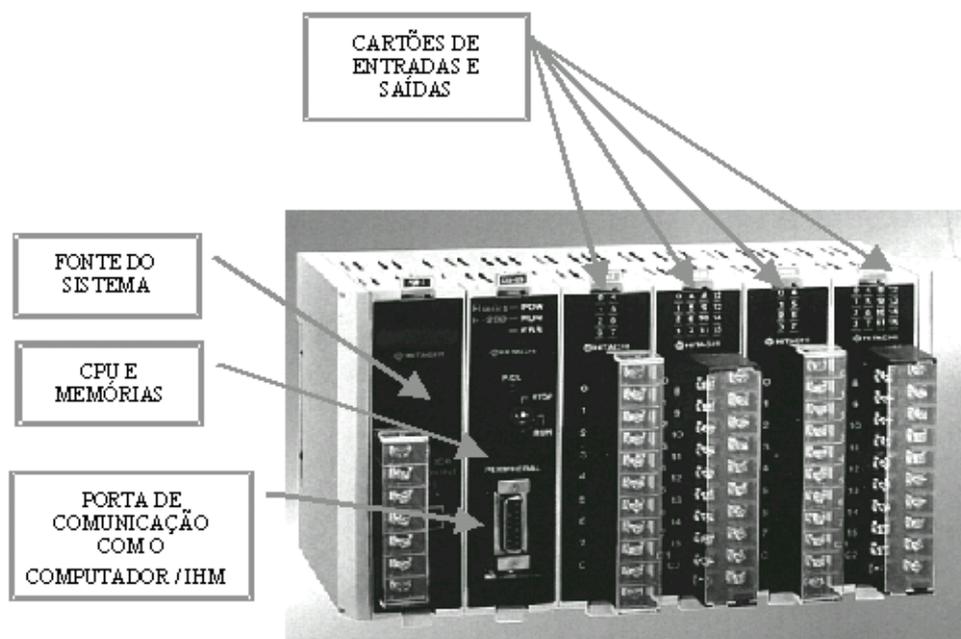


Figura 4.1 – CLP (Controlador Lógico Programável)

O controle em tempo real para intertravar motores e equipamentos relativos se tornou muito prático dentro do CLP usado no mundo do controle de processo. Um bom exemplo disto é o controle de processo petroquímico com funções de gerenciamento do processo configurado através de um computador pessoal ou estação de trabalho de operação do tipo PC. O controlador lógico programável varia na complexidade da operação que ele pode controlar, mas ele pode ser integrado em redes de comunicação digital com outros CLPs, computadores pessoais, sistemas de análise, sistemas de monitoração de máquinas rotativas e SDCDs, geralmente, mas nem sempre, estas redes são ponto a ponto, significando que um CLP pode falar com outro diretamente sem ir através de outro

equipamento intermediário. O CLP pode ser uma alternativa, econômica, do SDCD, onde não são envolvidas estratégias de controle de malha de processo sofisticadas. As aplicações típicas de CLP são:

1. Parada e partida de equipamentos
2. Alarme e intertravamento de segurança
3. Movimentação de óleo e gás
4. Engarrafamento e empacotamento
5. Processo de batelada simples

As vantagens do CLP são:

1. Excelente capacidade de manipular lógica, seqüencial e intertravamento
2. Programação ladder de fácil entendimento
3. Custo baixo, permitindo a personalização das funções do produto
4. Pode operar em ambiente hostil
5. Altíssima confiabilidade, sendo um produto comprovadamente fácil de se manter
6. Possui tamanho compacto e requer pouco espaço

As desvantagens do CLP no controle de processo são:

1. É não determinístico, ou seja, sem habilidade de prever o tempo de resposta, que é desastroso para o controle PID. O CLP é determinístico somente se a interrupção de tempo real for disponível e usada para PID.
2. Limitado em sua capacidade de fazer controle PID contínuo, principalmente em controle multivariável.
3. Não possui interface homem-máquina, requerendo uso de um computador pessoal, quando for necessária esta interface.
4. Necessidade de configurar o CLP em separado da configuração do PC e do SDCD, em sistemas combinados.

### 4.3 - Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA)

SCADA ou Supervisory Control And Data Acquisition – Controle Supervisório e Aquisição de Dados. SCADA é um sistema de controle tipicamente usado para monitorar e controlar processos que tenham muitas operações de liga e desliga e poucas malhas de controle analógico PID. O sistema SCADA é usado principalmente para partir e parar unidades remotas e não é usado para o controle dos processos complexos. Exemplos de processos simples: unidades de transferência de produtos em tubulações por bombas (líquidos) ou compressores (gases), distribuição de água e distribuição de energia elétrica.

São exemplos de processos complexos, que requerem muito controle analógico PID: refinaria de petróleo, planta química ou petroquímica. Nestes processos, a tecnologia empregada é o Sistema Digital de Controle Distribuído, mais complexo, caro e poderoso que um sistema SCADA. Antigamente o termo controle supervisório significava o sistema onde o computador digital estabelecia o ponto de ajuste e outros parâmetros dos controladores analógicos.

Há sistemas SCADA proprietários, de um único fabricante, que já está interligado com todas interfaces e drivers proprietários. São sistemas mais caros, menos flexíveis, porém já prontos para o uso. Exemplo clássico: MOSCAD, da Motorola. A tendência atual é utilizar sistemas com protocolos e programas abertos, podendo utilizar equipamentos de diferentes fabricantes.

Os equipamentos básicos deste SCADA são:

1. Controlador Lógico Programável (CLP) para fazer a aquisição de dados
2. Computador Pessoal (PC) para rodar o supervisório e constituir a estação de operação ou a interface humano máquina

Neste sistema, tem-se vários fornecedores de CLP (Siemens, Modicon, Rockwell, GE Fanuc, Hitachi, Reliance) e vários aplicativos (InTouch, IFix, VXL). Há maior flexibilidade, porém, há maior dificuldade de integração do

sistema. Um sistema de Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA) coleta e armazena dados para uso futuro. Os dados podem ser analógicos, discretos ou digitais. Os dados analógicos podem ser do tipo:

1. 4 a 20 mA cc,
2. tensão de mV de células de carga,
3. tensão de termopares dos tipos J, K, R, S, T B e E,
4. resistências detectoras de temperatura,
5. pulsos de turbinas medidoras de vazão,
6. freqüência de sinais de transmissores de vazão magnéticos,
7. freqüências de medidores tipo vortex ou coriolis

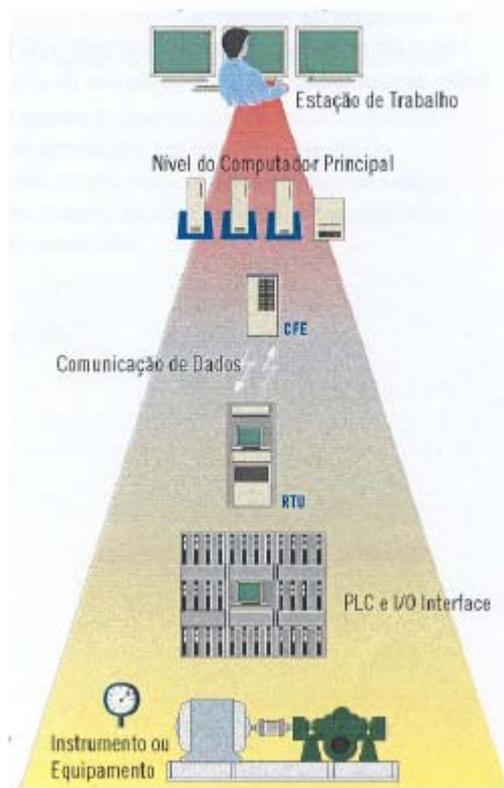


Figura 4.2. Visão geral de um sistema SCADA

Estes sinais analógicos ou de pulso são convertidos para a forma digital conveniente para uso dentro do sistema digital de aquisição de dados. Dados discretos são as saídas de chave, que podem ser 0 ou 1. Os sinais digitais, como protocolo HART®, Fieldbus Foundation, entram no sistema através da rede de comunicação digital. Há uma distinção clara entre sinal digital e discreto (ou binário). O sinal ou protocolo digital é constituído de vários bits (p. ex.: 16, 32 ou 64) e tem muitos recursos. Exemplos de protocolos digitais: HART, Fieldbus Foundation, Modbus. O sinal discreto ou binário é aquele fornecido por uma chave elétrica e possui apenas um bit de informação: ligado ou desligado. Há autores e manuais que chamam o sinal discreto de digital, diferente de nossas definições. Há ainda o sinal de pulso, cuja informação pode estar na amplitude, na freqüência, na duração ou na posição do pulso. Exemplos de sinais: saída de turbina medidora de vazão, saída de medidor magnético de vazão.

Um modo claro para mostrar a diferença entre sinal discreto e digital, em um CLP é que os sinais discretos entram através de módulos de entrada e sinais digitais através da porta da CPU do CLP.

Na maioria das aplicações industriais, a aquisição de dados é feita por controladores lógico programáveis (CLP) que possuem as interfaces de entrada e saída padronizadas e com preço conveniente. Outra vantagem de se usar um CLP como sistema de coleta de dados é a facilidade de driver de comunicação entre ele e o microcomputador onde será rodado o programa aplicativo para realizar o controle supervisório do processo. Quando os dados são coletados a grandes distâncias, eles são transferidos através de fios físicos, por uma onda de rádio freqüência portadora ou através de linha telefônica ou por uma combinação qualquer destas três técnicas. Estes dados devem estar disponíveis em um único local centralizado, e podem ser indicados, registrados, totalizados,

analisados e alarmados, que é a estação de operação. É também desejável que o operador, além de coletar os dados e saber os status dos dispositivos remotos, possa atuar no processo, abrindo e fechando válvulas motorizadas, ligando e desligando motores de bombas e compressores, enviando sinais analógicos para atuar em válvulas de controle. Nestas aplicações, os sinais digitais do sistema de aquisição de dados devem ser convertidos de volta para a forma analógica e aplicados a algum tipo de atuador no processo. Neste ponto, deve-se projetar e construir equipamentos digitais que executem todas estas tarefas. Este equipamento é a Estação de Operação, que tipicamente é um computador pessoal (PC), que roda um software aplicativo de Controle Supervisório.

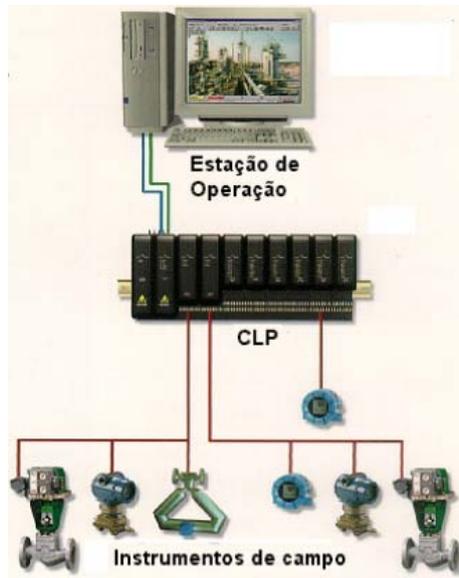


Figura 4.3. Componentes do sistema SCADA

#### 4.4 - Aplicativo de Supervisão

O aplicativo de supervisão é uma aplicação desenvolvida em um ambiente de desenvolvimento (software) com a função principal de fornecer ao operador do sistema dados da planta. E por meio do aplicativo que o operador poderá obter dados do sistema como situação das válvulas, valor de sensores, poderá também realizar ajustes com alterar um ganho de um controlador específico ou poderá atuar em um dispositivo como uma válvula ou um motor por exemplo. As telas de apresentação de informações deverão seguir uma hierarquia que varia de sistema para sistema. Nas figuras seguintes podemos ver exemplos de telas de aplicativos para supervisão.



Figura 4.4. Sala de controle do gasoduto Brasil-Bolívia

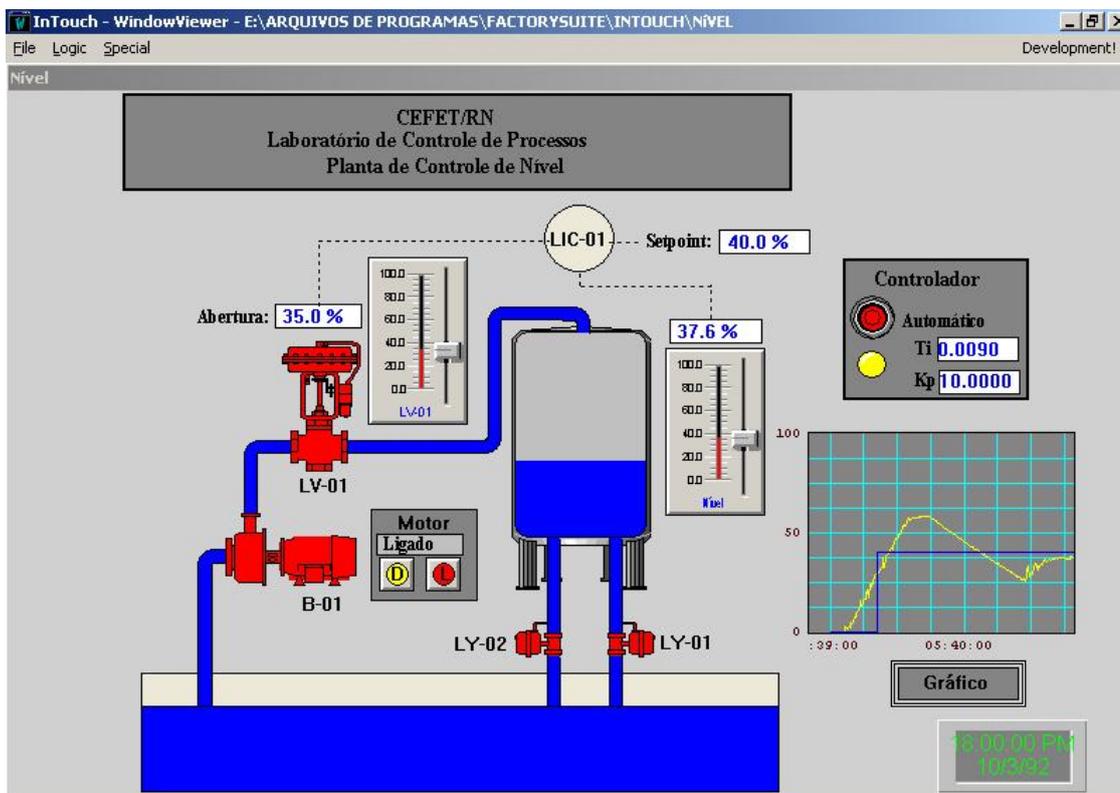


Figura 4.5. Tela de um sistema supervisório para controle de nível

#### 4.5 – Introdução a Sistemas Digitais

Um sistema digital é uma combinação de dispositivos projetados para manipular informação lógica ou quantidades físicas que são representadas no formato digital, ou seja, as quantidades podem assumir apenas valores discretos.

A informação manipulada em um sistema digital pode ser uma imagem, um som ou um texto, mas na verdade é um número que, de alguma forma, representa o dado em questão.

#### 4.5.1 - Representação em formato analógico e digital

Na representação analógica uma quantidade é representada por uma tensão, uma corrente ou uma medida de movimento que seja proporcional ao valor da quantidade em questão, podendo variar continuamente ao longo de uma faixa de valores.

Na representação digital as quantidades são representadas por símbolos denominados dígitos que variam em saltos ou degraus.



Figura 4.6 - Representação analógica e digital de uma temperatura

#### 4.5.2 - Sistemas de Numeração

Existem vários sistemas numéricos, mas nos sistemas digitais os mais comuns são o sistema decimal, o binário, o octal e o hexadecimal. O sistema decimal é o mais utilizado no dia-a-dia e é, sem dúvida, o mais importante dos sistemas numéricos. Trata-se de um sistema que possui dez algarismos, com os quais podemos formar qualquer número através da lei de formação.

Infelizmente, o sistema de numeração decimal não é conveniente para ser implantado em sistemas digitais, pois seria difícil projetar um equipamento eletrônico capaz de operar com dez diferentes níveis de tensão. Por outro lado é fácil projetar um circuito eletrônico que opere com apenas dois níveis de tensão motivando o uso do sistema de numeração binário.

Além dos sistemas binário e decimal, dois outros sistemas de numeração (octal e hexadecimal) encontram extensas aplicações em sistemas digitais como um meio eficiente de representar números binários grandes.

Todos os números seguem uma lei de formação:

$$\text{Número} = a_n \cdot b^n + a_{n-1} \cdot b^{n-1} + \dots + a_0 \cdot b^0$$

onde:

$a_n$  = algarismo

$b$  = base do número

$n$  = quantidade de algarismos – 1

Exemplo: Represente a quantidade representada pelos números abaixo.

$$84917_{(10)} = 8 \times 10^4 + 4 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 7 \times 10^0$$

$$1011_{(2)} = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

### 4.5.3 - Sistema Binário de Numeração

O sistema binário possui apenas 2 algarismos (0 e 1), mas pode ser usado para representar qualquer quantidade que possa ser representada no sistema decimal usando o agrupamento de dígitos.

A denominação do dígito binário é abreviado para **Bit (Binary Digit)**

Exemplo:  $110_{(2)} = 6_{(10)}$

Abaixo, é mostrada a seqüência numérica das quantidades de zero a quinze.  
Decimal Binário Decimal Binário

Decimal	Binário
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111

Decimal	Binário
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

### 4.5.4 - Conversão Binário/Decimal

A conversão de um número em binário para decimal é feita aplicando a lei de formação dos números.

Exemplo:  $110_{(2)} = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 4 + 2 + 0 = 6_{(10)}$

a) 11010 (B)

b) 1100100 (B)

Solução:

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad 11010 &= 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 \\ 11010 &= 16 + 8 + 0 + 2 + 0 \\ 11010 &= 26 \text{ (D)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b)} \quad 1100100 &= 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 \\ 1100100 &= 64 + 32 + 0 + 0 + 4 + 0 + 0 \\ 1100100 &= 100 \text{ (D)} \end{aligned}$$

### 4.5.5 - Conversão Decimal/Binário

O processo de conversão de um número decimal para binário se faz dividindo-se o número por 2 (base do sistema no qual se quer converter), sucessivamente, até que o quociente torne-se menor que 2.

Exemplo: Converter  $20_{(10)}$  para base binária

$$\begin{aligned} 20 \div 2 &= 10 \text{ resto } \mathbf{0} \\ 10 \div 2 &= 5 \text{ resto } \mathbf{0} \\ 5 \div 2 &= 2 \text{ resto } \mathbf{1} \\ 2 \div 2 &= 1 \text{ resto } \mathbf{0} \end{aligned}$$

Ordenando o último quociente com os restos do último para o primeiro, teremos o número binário correspondente:

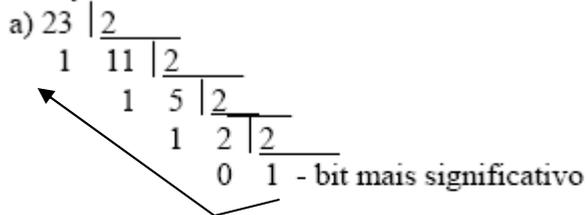
$$20_{(10)} = \mathbf{10100}_{(2)}$$

Exemplo: Converter os seguintes números decimais em binário.

a) 23 (D)

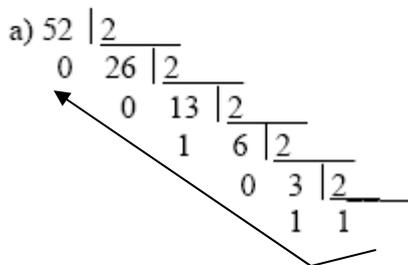
b) 52 (D)

Solução:



logo :

23 (D) = 10111 (B)



logo :

52 (D) = 110100 (B)

#### 4.5.6 - Sistema de Numeração Hexadecimal

O sistema hexadecimal, ou sistema de base 16, é largamente utilizado nos computadores de grande porte e vários microcomputadores. Neste sistema são utilizados 16 símbolos para representar cada um dos dígitos hexadecimais, conforme a tabela a seguir:

Nº DECIMAL	DÍGITO HEXADECIMAL	Nº BINÁRIO
0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
10	A	1010
11	B	1011
12	C	1100
13	D	1101
14	E	1110
15	F	1111

Note que as letras A, B, C, D, E, F representam dígitos associados às quantidades, 10, 11, 12, 13, 14, 15, respectivamente.

#### 4.5.7 - Conversão Hexadecimal Decimal

Novamente aplicamos para o sistema hexadecimal a definição de um sistema de numeração qualquer. Assim temos:

$$N = d_n \cdot 16^n + \dots + d_2 \cdot 16^2 + d_1 \cdot 16^1 + d_0 \cdot 16^0$$



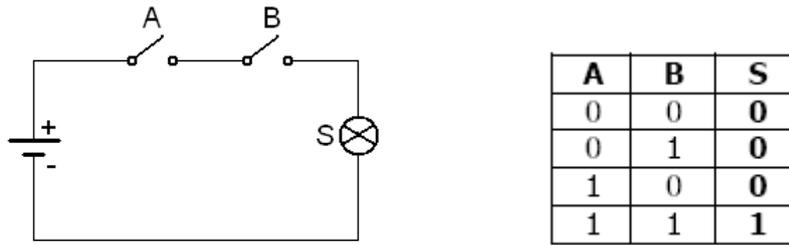
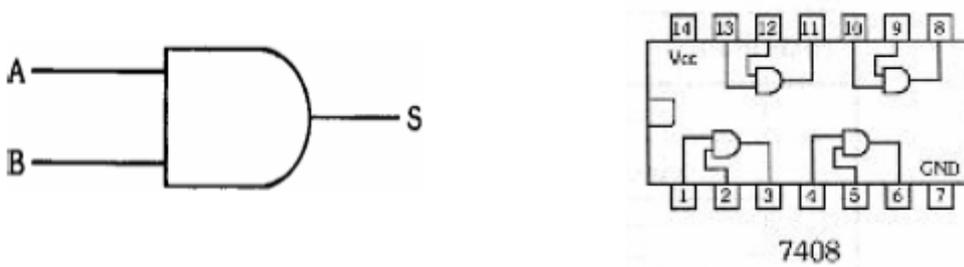


Figura 4.7 - Representação esquemática AND e sua tabela verdade

A tabela, chamada de **tabela verdade**, mostra que a saída da função **S** é igual a 1, só quando as entradas são 1 ao mesmo tempo. A representação da função é:

$$S = A \cdot B \text{ (lida como S é igual a A e B)}$$

Em termos de circuito, representa-se a função AND pelo símbolo da porta lógica, como mostra a figura abaixo. Estas portas estão disponíveis em Circuitos Integrados como o 7408 também mostrado abaixo



Pode-se estender o conceito da tabela da verdade acima para qualquer quantidade de variáveis de entrada. Como exemplo, vemos abaixo a tabela verdade para três variáveis:

A	B	C	S
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Nota-se que a tabela verdade mostra todas as possíveis combinações de valores para as variáveis de entrada e seus respectivos valores de saída. O número de soluções possíveis é igual a  $2^N$ , onde **N** é o número de variáveis de entrada. No exemplo:  $N=3, 2^3=8$  possibilidades.

### Função OU/OR

A função OU é caracterizada pelo fato de sua saída ser zero somente quando todas as entradas forem, também, zero. Vê-se abaixo, a tabela verdade desta função:

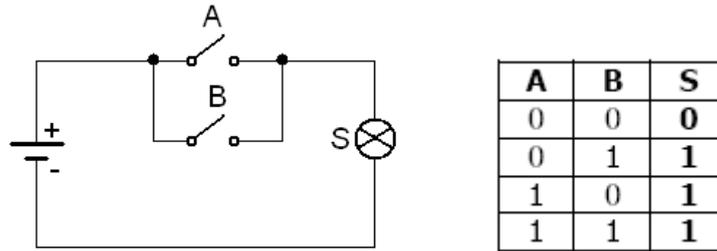
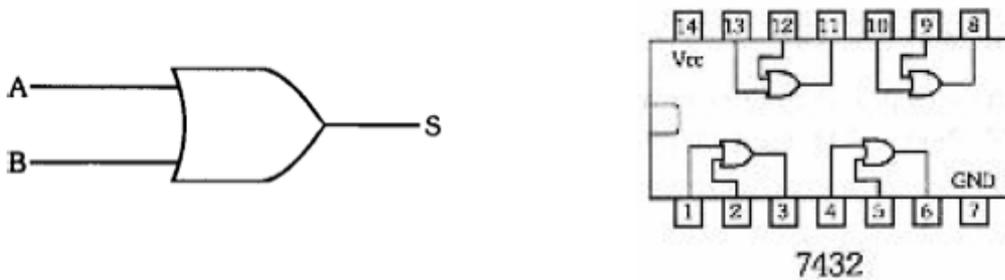


Figura 4.8 - Representação esquemática OR e sua tabela verdade

A representação algébrica desta função é dada como:

$$S = A + B \text{ (lida como S é igual a A ou B)}$$

O símbolo da porta lógica OU e o CI 7432 são vistos a seguir:



### Função NÃO/NOT

A função NOT é aquela que inverte ou complementa o valor de uma variável lógica, ou seja, se a variável estiver em 0, a saída vai para 1 e vice-versa. A tabela verdade exemplifica este fato:

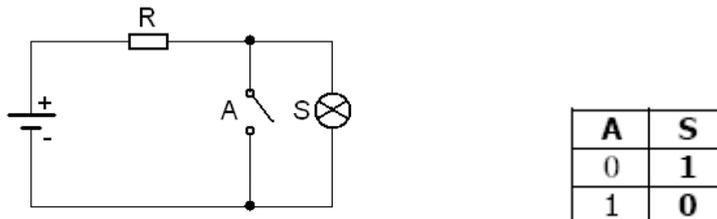
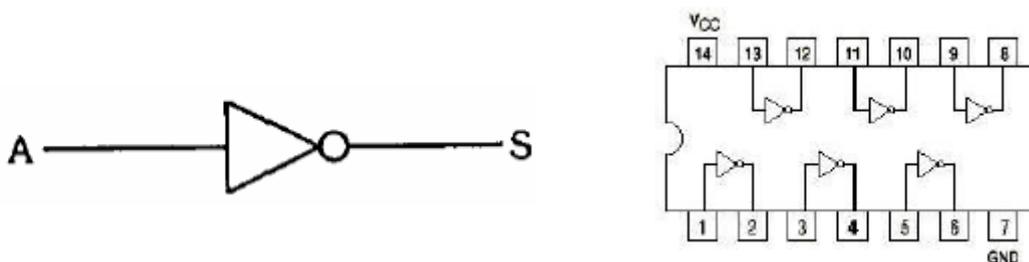


Figura 4.9 - Representação esquemática NOT e sua tabela verdade

É representada algebricamente pela expressão:

$$S = \bar{A} \text{ ou } S = A' \text{ (lida como S é igual a A barrado ou negado)}$$

O símbolo da porta lógica e o CI 7404 são mostrados abaixo:



### Função NE/NAND

Esta função é a junção das funções NOT e AND, de forma que a tabela da verdade fica como:

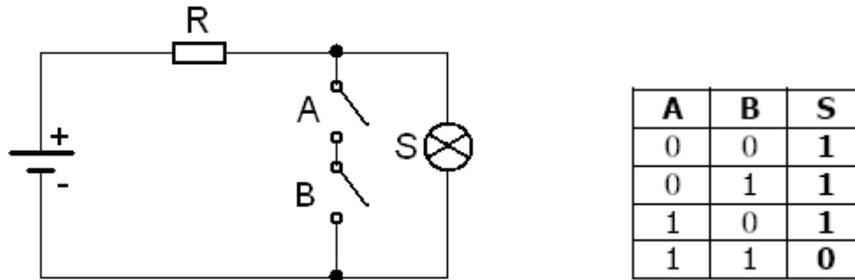
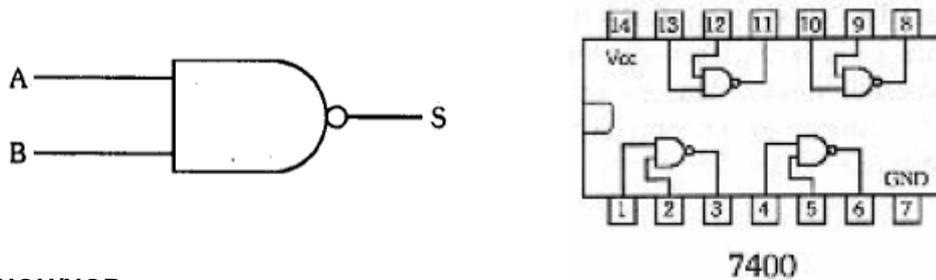


Figura 4.10 - Representação esquemática NAND e sua tabela verdade

A expressão fica descrita como:

$$S = \overline{A \cdot B}$$

O símbolo da porta NAND é dado abaixo. No CI 7400 podemos encontrar quatro portas NAND:



### Função NOU/NOR

Esta função é a junção das funções NOT e OR, de forma que a tabela da verdade fica como:

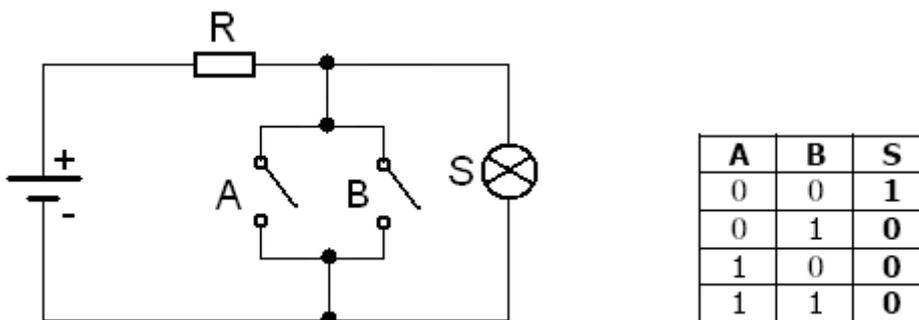
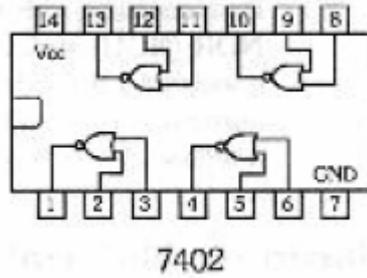
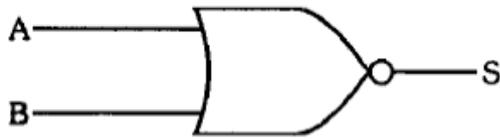


Figura 4.11 - Representação esquemática NOR e sua tabela verdade

A expressão fica descrita como:

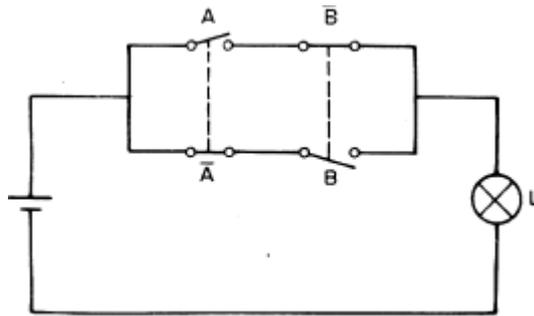
$$S = \overline{A + B}$$

O símbolo da porta NOR é dado a seguir. O CI 7402 contém quatro portas NOR.



**Bloco Lógico OU EXCLUSIVO/XOR**

A função que este bloco executa é de fornecer 1 na saída, quando as entradas forem diferentes entre si. Abaixo, a tabela da verdade deste bloco é mostrada.



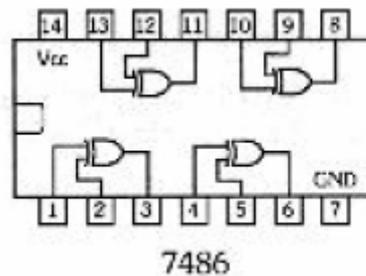
A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Figura 4.12 - Representação esquemática XOR e sua tabela verdade

Da tabela obtém-se a expressão característica:

$$S = \bar{A}.B + A.\bar{B} \text{ ou } S = A \oplus B$$

O símbolo deste bloco é dado abaixo. O CI 7486 contém quatro portas lógicas OU EXCLUSIVO.



**Bloco Lógico COINCIDÊNCIA/XNOR**

A função que este bloco executa é de fornecer 1 na saída, quando as entradas forem iguais entre si. Abaixo, a tabela da verdade deste bloco é mostrada.

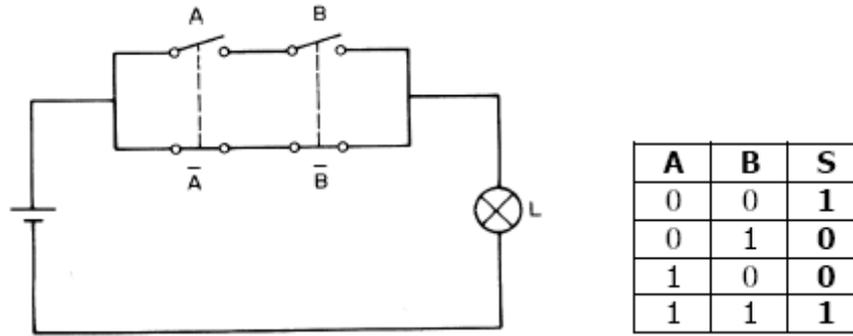
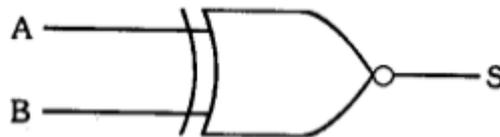


Figura 4.13 - Representação esquemática XNOR e sua tabela verdade

Da tabela obtém-se a expressão característica:

$$S = \bar{A}.\bar{B} + A.B \text{ ou } S = A \otimes B$$

O símbolo deste bloco é dado como:



### Expressões Booleanas Obtidas de Circuitos Lógicos

Todo circuito lógico executa uma expressão booleana, e por mais complexo que seja, é formado pela interligação das portas lógicas básicas. Podemos obter uma expressão que é executada por um circuito lógico qualquer. Considere o circuito abaixo, podemos observar que as saídas das primeiras portas, da esquerda para direita servem de entrada para as portas subseqüentes, tornando as expressões de saída maiores.

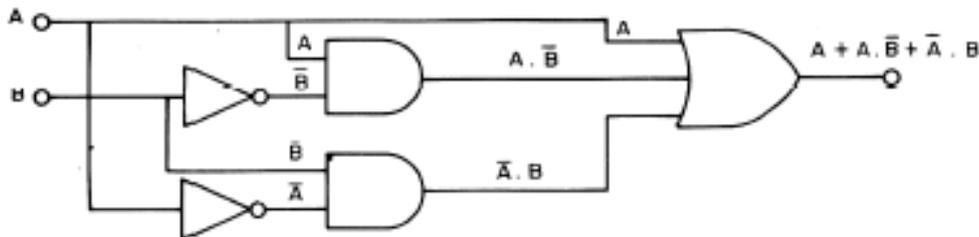
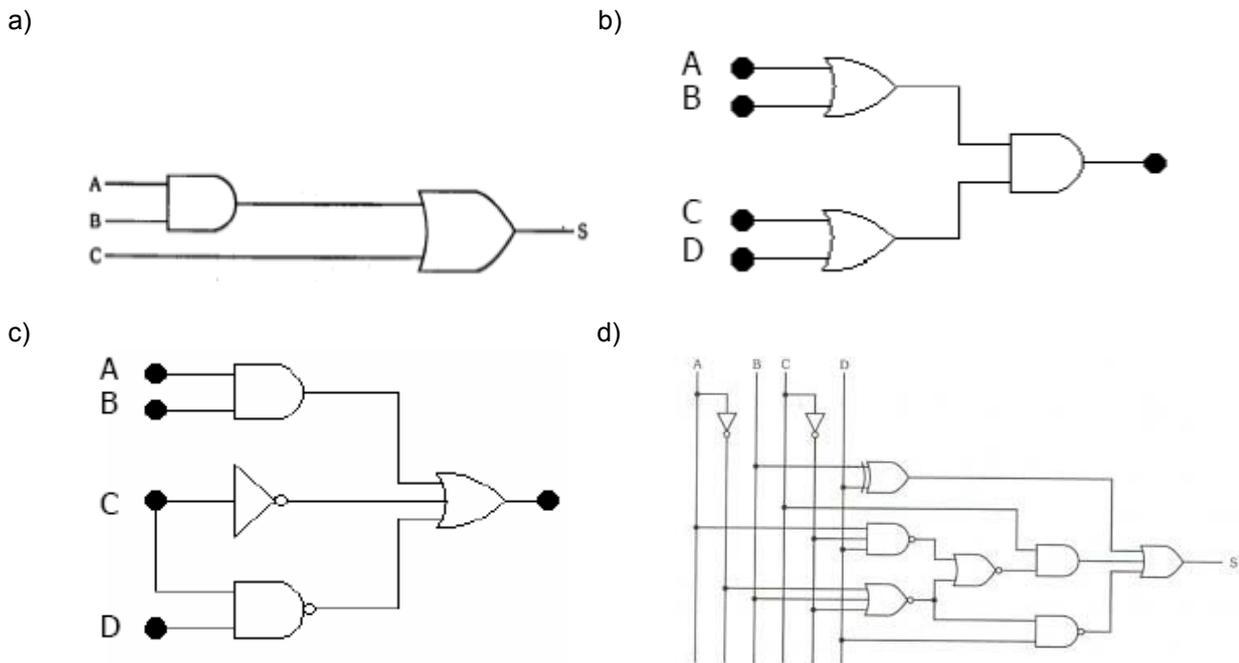


Figura 4.14 – Expressão booleana obtida de um circuito

Exemplo: Determine as expressões decorrentes dos circuitos lógicos abaixo:



### Circuitos Obtidos de Expressões Booleanas

O método para se obter um circuito obtido de uma expressão booleana consiste em se identificar as portas lógicas na expressão e desenhá-las com as respectivas ligações, a partir das variáveis de entrada.

Exemplo: Esboce os circuitos decorrentes das expressões abaixo

a)  $S = \overline{A}.B + C.\overline{D} + \overline{A}.B$

b)  $S = \overline{\overline{(A + B)}.C.(B + D)}$

c)  $S = A + (B \otimes C).\overline{\overline{A.B.C}} + \overline{\overline{A.C + B}}$

### Obtenção de Tabela Verdade

Tabela verdade é um mapa onde se colocam todas as situações possíveis de uma dada expressão booleana. A quantidade de linhas é função do número de variáveis de entrada da expressão booleana.

Exemplo: Monte a Tabela verdade da expressão  $S = \overline{(A.B)} + \overline{(A + B)}$

A	B	$\overline{(A.B)}$	$\overline{(A + B)}$	$S = \overline{(A.B)} + \overline{(A + B)}$
0	0	1	1	1
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	0

Exemplo: Monte a Tabela verdade das expressões abaixo:

a)  $S = \bar{A} + B + A.\bar{B}.\bar{C}$

A	B	C	S
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

a)  $S = (A + B).\bar{(B.C)}$

A	B	C	S
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

### Simplificação de expressões lógicas

As simplificações das expressões lógicas podem ser efetuadas usando os postulados, as identidades e as propriedades da Álgebra de Boole e ainda os Teoremas de De Morgan.

POSTULADOS		
<b>Complementação</b>	<b>Adição</b>	<b>Multiplicação</b>
$A = 0 \rightarrow \bar{A} = 1$	$0 + 0 = 0$	$0 \cdot 0 = 0$
$A = 1 \rightarrow \bar{A} = 0$	$0 + 1 = 1$	$0 \cdot 1 = 0$
	$1 + 0 = 1$	$1 \cdot 0 = 0$
	$1 + 1 = 1$	$1 \cdot 1 = 1$
IDENTIDADES		
<b>Complementação</b>	<b>Adição</b>	<b>Multiplicação</b>
$\bar{\bar{A}} = A$	$A + 0 = A$	$A \cdot 0 = 0$
	$A + 1 = 1$	$A \cdot 1 = A$
	$A + A = A$	$A \cdot A = A$
	$A + \bar{A} = 1$	$A \cdot \bar{A} = 0$
PROPRIEDADES		
Comutativa:	$A + B = B + A$ $A \cdot B = B \cdot A$	
Associativa:	$A + (B + C) = (A + B) + C = A + B + C$ $A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C = A \cdot B \cdot C$	
Distributiva:	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$	
TEOREMAS DE MORGAN		
$\overline{(A \cdot B)} = \bar{A} + \bar{B}$		
$\overline{(A + B)} = \bar{A} \cdot \bar{B}$		
IDENTIDADES AUXILIARES		
$A + A \cdot B = A$		
$A + \bar{A} \cdot B = A + B$		
$(A + B) \cdot (A + C) = A + B \cdot C$		

**Exemplo:** Usando a álgebra de Boole, prove que:  $A + A.B = A$

**Exemplo:** Usando a álgebra de Boole, simplifique:

a)  $A.B + A.\bar{B} + \bar{A}.B$       b)  $\bar{A} + A.B$       c)  $A + \bar{A}.\bar{B}$

**Exemplo:** Usando a álgebra de Boole, mostre que:

$$a) (A + B) \cdot (A + C) = A + B \cdot C$$

$$b) A + \overline{A} \cdot B = A + B$$

#### 4.6 - Projetos de circuitos combinacionais

Podemos utilizar um circuito lógico combinacional para solucionar problemas em que necessitamos de uma resposta, quando acontecerem determinadas situações representadas por variáveis de entrada. Para construirmos estes circuitos, necessitamos de suas expressões características obtidas a partir de tabelas verdade que representam as situações mencionadas.

A figura abaixo ilustra a seqüência do processo, onde a partir da situação, obtemos a tabela verdade e a partir desta, através das técnicas já conhecidas a expressão simplificada e o circuito final.

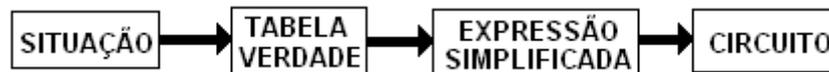


Figura 4.7 – Seqüência de um projeto de circuito combinacional

#### 5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- TELECURSO 2000. Curso Profissionalizante: Automação. Editora globo, 2000.
- SENAI – ES. Instrumentação Básica I. CPM – Programa de Certificação do Pessoal de Instrumentação, 1999.
- RIBEIRO, Marco Antônio. Controle de Processo. Teoria e Aplicações, Salvador, 2003.
- RIBEIRO, Marco Antônio. Controle e Automação. 1ª Ed. Salvador, 2005.
- SENAI – RJ. Monitoramento e Controle de Processos. 2004.
- PROMIMP – 2008. Eletricista de Manutenção: Automação Industrial, 2008.
- SENAI – ES. Eletrônica Digital. CPM – Programa de Certificação do Pessoal de Manutenção, 1999

## 6- LISTA DE EXERCÍCIOS

1. Converter os seguintes números binários em seus equivalentes decimais:

- a. 001100      c. 011100      e. 101010      g. 100001  
 b. 000011      d. 111100      f. 111111      h. 111000

2. Converter os seguintes números decimais em seus equivalentes binários:

- a) 64              b) 100              c) 111              d) 145              e) 225              f) 500

3. Converter os seguintes números inteiros hexadecimais em seus equivalentes decimais:

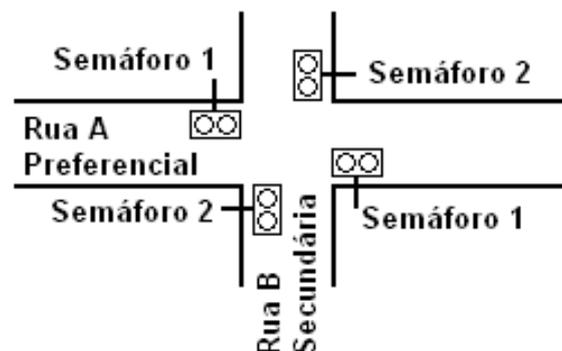
- a) C              b) 9F              c) D52      d) 67E      e) ABCD

4. Converter os seguintes números decimais inteiros em seus equivalentes hexadecimais:

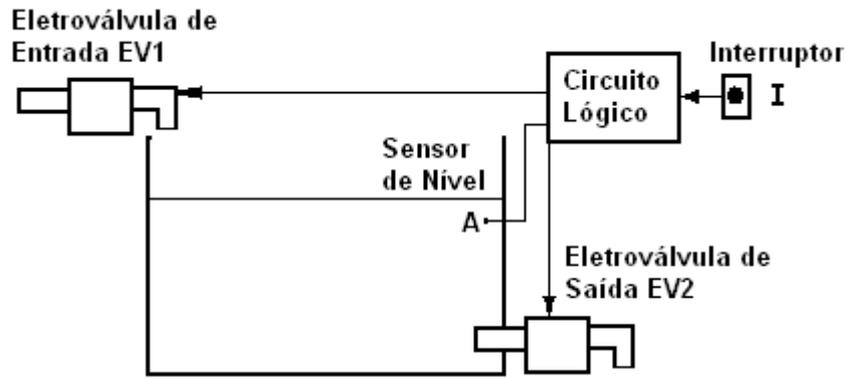
- a) 8              b) 10              c) 14              d) 16              e) 80              f) 2560  
 g) 3000              h) 62 500

5. A Figura representa um cruzamento das ruas A e B. Neste cruzamento, queremos instalar um sistema automático para os semáforos, com as seguintes características:

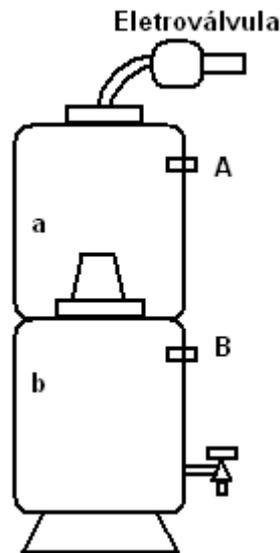
- Quando houver carros transitando somente na rua B, o semáforo 2 deverá permanecer verde para que estas viaturas possam trafegar livremente.
- Quando houver carros transitando somente na rua A, o semáforo 1 deverá permanecer verde pelo mesmo motivo anterior.
- Quando houver carros transitando nas ruas A e B, deveremos abrir o semáforo para a rua A, pois é preferencial.



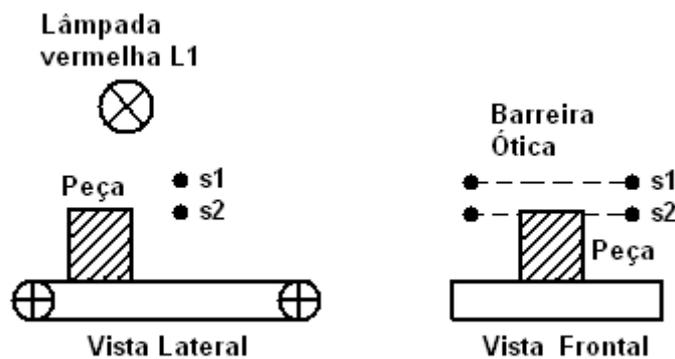
6. Elabore um circuito lógico para encher ou esvaziar um tanque industrial por meio de duas eletroválvulas, sendo uma para entrada do líquido e outra para o escoamento de saída. O circuito lógico, através da informação de um sensor de nível máximo no tanque e de um botão interruptor de duas posições, deve atuar nas eletroválvulas para encher o tanque totalmente (botão ativado) ou, ainda, esvazia-lo totalmente (botão desativado).



7. Elabore um circuito lógico que permita encher automaticamente um filtro de água de dois recipientes e vela, conforme figura. A eletroválvula permanecerá aberta quando tivermos nível 1 de saída do circuito, e permanecerá desligada quando tivermos nível 0. O controle será efetuado por dois sensores A e B. Colocados nos recipientes a e b respectivamente.



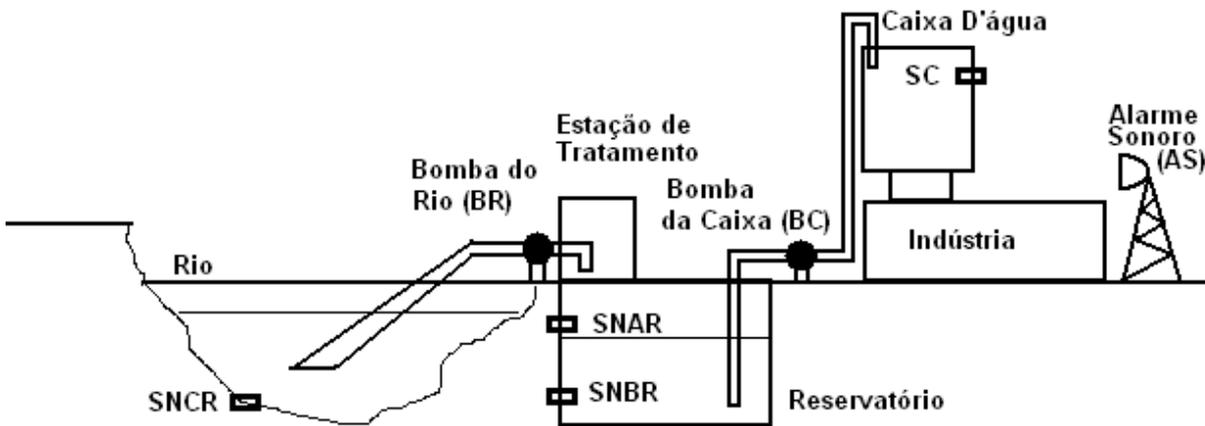
8. A Figura a seguir mostra uma esteira industrial na qual estão mecanicamente montados dois sensores de passagem (barreira ótica). A função deste sistema é verificar se as peças que passam pela esteira estão com o tamanho correto. A peça tem o tamanho correto quando sua altura está entre os dois sensores. Se a peça estiver fora do padrão uma luz vermelha deve acender.



9. Uma empresa capta a água que necessita de um rio próximo ao seu reservatório. Esta água é transferida ao reservatório, passando antes por uma estação de tratamento. Sempre que o sensor de nível alto estiver desacionado (SNAR = 0), a bomba do rio deve ser ligada (BR = 1) para encher o reservatório até o sensor de nível alto ser acionado (SNAR = 1).

A empresa está numa região de baixo índice pluviométrico e o rio às vezes fica tão baixo que não é possível captar água. Então, se o sensor de nível crítico do rio estiver desacionado (SNCR = 0), um alarme sonoro (AS = 1) deve avisar o operador do sistema e a bomba deve ficar desligada (BR = 0).

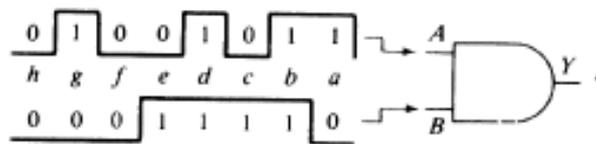
Ao mesmo tempo, a caixa d'água da industrial deve ficar com seu nível sobre o sensor SC. Se o nível ficar abaixo de SC (SC = 0) a bomba da caixa deve ser ligada (BC = 1) mas somente se SNBR = 1.



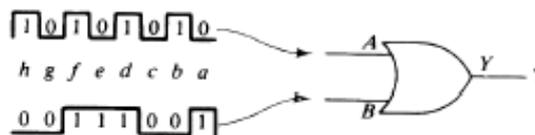
10. Quais o elementos de um sistema de controle automático?

- a) Atuador, processo, planta e sensor
- b) Atuador, processo, controlador e planta
- c) Atuador, processo, controlador e sensor
- d) Atuador, sensor, controlador e elemento final de controle

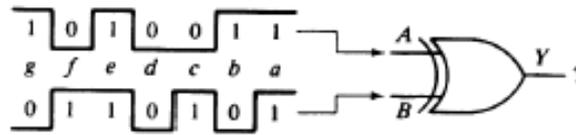
11. Como deve aparecer na saída da figura abaixo o trem de pulsos indicado na entrada? Observar que dois trens de pulsos estão submetidos a uma operação E.



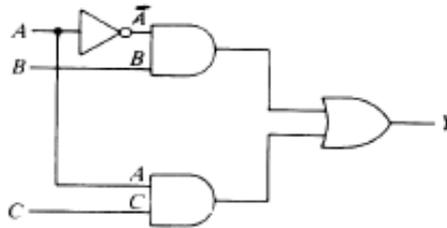
12. Como deve aparecer na saída o trem de pulsos na figura abaixo? Observar que dois trens de pulsos estão sendo submetidos a uma operação OU.



13. Qual seria o aspecto do trem de pulsos na saída da porta XOU na figura abaixo?

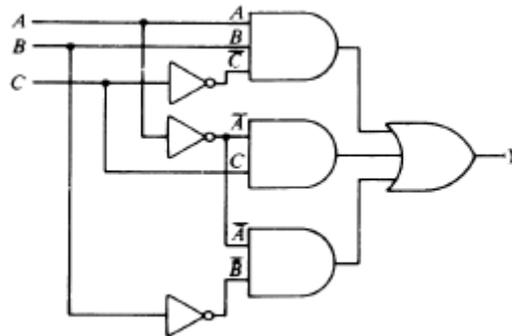


14. Qual é a expressão booleana do diagrama lógico E-OU na figura abaixo?



15. Qual é a tabela verdade para o diagrama lógico mostrado na figura anterior (exercício 14)?

16. Qual é a expressão booleana do diagrama lógico E-OU na figura abaixo?



17. Qual é a tabela verdade para o diagrama lógico mostrado na figura anterior (exercício 16)?

18. Em uma rede automatizada simples quais elementos fazem parte da primeira, segunda e terceira camadas respectivamente?

19. Com relação forma de alimentação de instrumentos, quais as duas principais abordagens utilizadas na década de 70 e quais suas principais características?

20. Descreva de forma sucinta o funcionamento de um potenciômetro.

21. Descreva de forma sucinta o funcionamento de um termostato.

22. Descreva de forma sucinta o funcionamento de um pressostato.

23. Descreva de forma sucinta o funcionamento de chave de nível tipo pá rotativa.

24. Qual a diferença entre o sistema SDCD para um sistema SCADA?